

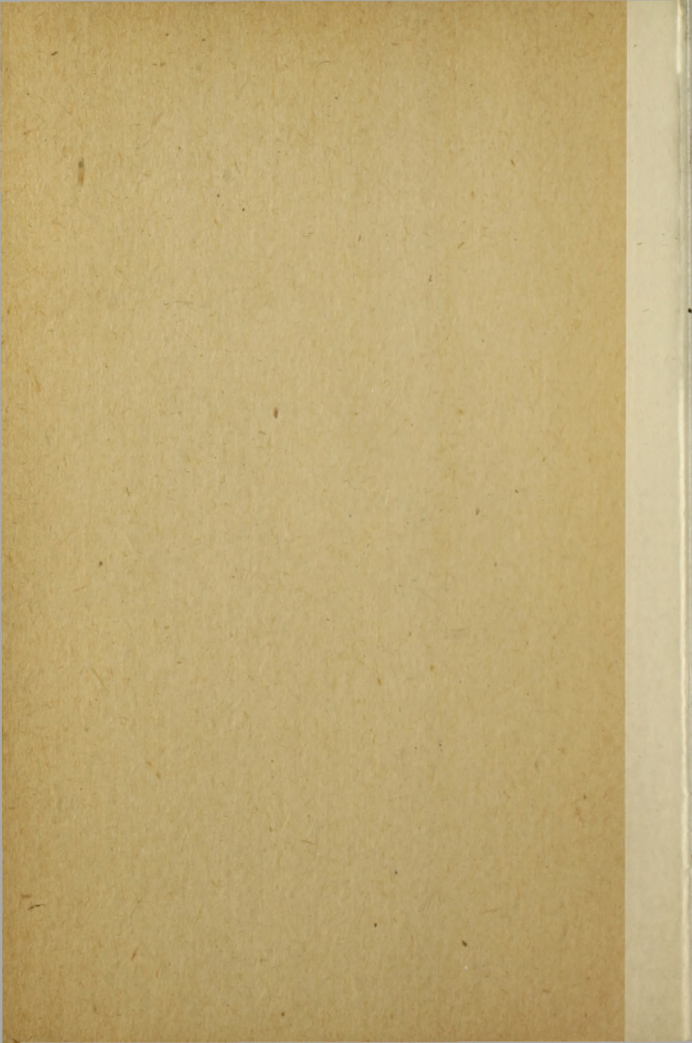
113332  
A MAGYAR SZEMLE  
KINCSESTÁRA, 84. SZ.



VILÁGRENDSZEREK

IRTA  
LASSOVSKY KÁROLY

BUDAPEST  
MAGYAR SZEMLE TÁRSASÁG



A MAGYAR SZEMLE KINCSESTÁRA



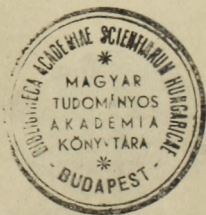
# VILÁGRENDSZEREK

IRTA  
LASSOVSKY KÁROLY



BUDAPEST, 1929  
KIADJA A MAGYAR SZEMLE TÁRSASÁG

113332



A Magyar Szemle Társaság tulajdonában lévő „Old  
Kenntonian Style” anyadúccokkal szedte és nyomta a  
Fővárosi Nyomda Részvénytársaság



# VILÁGRENDSZEREK

Az emberi művelődés történetének egyik legérdekesebb fejezete a Mindenségről alkotott felfogás fejlődése az idők folyamán. Különböző népeknél ez a világszemlélet egyazon történeti időben is más és más. Az eltérő földrajzi körülmények, életviszonyok, az illető nép karaktere és még sok egyéb tényező mind befolyással lehetett a világfelfogás kialakulására. A vallás szintén nem kis mértékben nyomta rá bélyegét arra a felfogásra, melyet az ember a Világról formált, sőt nem egyszer ez maga adta — sőt olykor adja még ma is — az egész világszemléletet.

Az idők során, a műveltség fejlődésével, új és igen fontos tényezők jutnak szerephez, hogy egy világkép elképzeléséhez hozzájáruljanak. Így elsősorban a természeti tűnemények megfigyeléséből leszűrt következtetések, vagyis a bölcsőkorát élő természetkutatás és a pusztá bölcsekedés. Az előbbi, ha végkövetkeztetéseiben ugyan századokon keresztül hamis úton járt is, a jövőnek óriási szolgálatot tett a tűnemények megfigyelésével, szóval az anyaggyűjtéssel. Ezzel nemcsak a későbbi korok munkáját könnyítette meg nagy mértékben, de elengedhetetlen is volt annak a világszemléletnek a megszületéséhez, mely az ember helyét a valóságnak megfelelően állapítja meg a Mindenségben. Annál károsabb hatása volt azonban a tapasztalati tényeket mellőző és legtöbbször minden alapot nélkülöző bölcseleti spekulációnak.

Ha sorravesszük a régiek világszemléleteit, tudo-

mányos szempontból a legképtelenebb és legtarthatatlanabb felfogásokkal találkozunk. Művelődési tekintetből ugyan talán most is tanulmányozásra érdemesek s költői szépségükkel nem egyszer vívják ki bámulatunkat. A régi keleti népeknél a vallási és a költői elem a domináló, az ókor legműveltebb népénél, a görögénél meg már a bölcselkedő. A görög nép különös hajlandóságot mutatott a filozofáláshoz, emellett azonban a természeti tűnemények megfigyelését meglehetősen elhanyagolta. A természet tanulmányozásától elforduló emez irányzat folytán a természetkutatás súlyos kárt szenvedett, s ennek hatása szinte napjainkig volt érezhető. Voltak ugyan kiváló görög természettudósok, kik tudtak a föld gömbalakjáról, sőt a heliocentrumos rendszer hirdetésével Kopernikust is megelőzték, tanaik azonban feledésbe mentek s évszázadok mulva azokat szinte újra kellett felfedezni. Sokkal maradandóbb, s a haladást rendkívül megakasztó hatást fejtett ki a másik, a bölcséleti görög iskola. Az a nagy visszaesés a természettudományok terén, mely a középkort jellemzi, nem kis mértékben ennek a spekulatív irányzatnak a rovására írható. A görögök szférák rendszeréből álló világa, melynek közepét a mozdulatlan Föld foglalja el, a puszta képzelet szüleménye. S ez a felfogás, mely szerint a szférákra erősített összes égitest a mozdulatlan Föld körül kering, egész a középkor végéig tartotta fenn magát. A görögök óta mindaddig a világszemléletben semmi fejlődést, inkább sztagnálást vagy éppen visszaesést találunk. De nem is lehetett itt már szó fejlődésről, mikor az egész régi felfogásnak összerombolására volt szükség, hogy belőle az új, a ténylegesnek megfelelő világszemlélet megszülethessék. A XVI. században végre megérkezett a pillanat, mikor a mozdulatlanságra ítélt Föld az ember tudatában is megindult. És hasztalan igyekeztek a megrögzöttek mozgásában visszatartani. Nem várta be, míg mozgását hivatalosan is megengedték, hanem fittyet hányva minden tiltó rendeletre, zavartalanul folytatta tovább

évmilliókra visszatekintő pályafutását s nem foglalja vissza soha többé azt a helyet, melyet az emberi hiúság a Mindenség közepében jelölt ki számára.

A Föld helyét egy más égitest, a Nap foglalta el. S az új központi test nagyságával szemben lakóhelyünk egészen eltörpül s eltörpül többi bolygótársa is, melyek sorába lefokozták, s melyekkel együtt kering az új középponti égitest körül. Azzal, hogy a Föld elvesztette jogtalan domináló szerepét s helyét a Nap foglalta el, az emberi elme óriási lépést tett abban az irányban, mely a Mindenség igazi megismerése felé vezet. S ha a róla alkotott kép ezzel még korántsem vált tökéletessé, annyira mégis megalapozottá lett, hogy ezen túl már nem számolhatunk akkora mindent felforgató változással, mint amilyen a Föld mozdulatlanságába vetett hit megdőlésével járt.

Igen, számolhatunk továbbra is változással. De nem az eddigi eredményeket felforgató, hanem azokat tökéletesítő, fejlesztő változással. Ilyen, a tökéletesedés felé vezető lépés volt az, mikor bebizonyosodott, hogy a Nap, Földünkre és a többi bolygótársára nézve ez a legnagyobb jelentőséggel bíró égitest, szintén csak egyik szerény tagja egy igen nagy, a bolygórendszernek jóval nagyobb rendszernek, a millió és a millió napot számláló Tejútnek. Csak most, mikor a csillagászat ennyire jutott, nyert megállapítást, hogy tulajdonképpen milyen helyet foglalunk el a Mindenségben.

Ez a kijelentés: Mindenség, azonban nagyon mérész. Vajjon leszünk-e valaha is abban a helyzetben, hogy azt mondhassuk: ismerjük az egész Mindenséget?

Mikor a Naprendszerből a Tejútrendszerre szélesedett világ szerkezetébe mélyebb bepillantást sikerült nyerni, kiderült, hogy az nem tölti be az egész Mindenséget, hanem hogy, bár óriási is, mégis csak véges kiterjedésű. Ilven értelemben azt is mondhatnánk, hogy az addig végtelennek képzelt világegyetem végessé



válva, összezsugorodott, határok közé lett szorítva. Az újabb vizsgálatok azonban kimutatták, hogy az így határok közé kerülő világrendszerünk nem egyedülálló, hanem hogy még számos, millió és millió ilyen rendszer van rajta kívül, egymástól izolálva, a térben. S ezzel Világegyetemünk határai újra rendkívüli módon kitágultak. Óriási rendszereknek halmazával állunk szemben, mely halmaznak minden tagja külön-külön is megérdemli a világrendszer nevet. S így nyer magyarázatot az az első pillanatra talán szokatlannak talált kifejezés, melyet tanulmányunk cím gyanánt visel: világrendszerek.

Sziget-univerzumok, amint újabban nevezték el őket, mintegy jelképezve, hogy egymástól izolálva szóródnak el a világtérben. De vajjon mi van azokon túl, vajjon ezek az univerzumok újra miféle magasabb rendszert alkotnak, vajjon meddig lehet így felfelé menni s mi a végső forma: az jelenleg még ismeretlen és a jövő titka. A képzelet elmehet, messze túl, ahová a legmodernebb eszközökkel felfegyverzett természetbúvár ereje el se juthat. Mi azonban maradjunk csak azokon a határokon belül, ameddig a kutató valósággal el is jutott. Így is óriási utat kell majd rövid tanulmányunk során megtennünk.

## I. FEJEZET

### A NAPRENDSZER

Mielőtt nagy, világjáró útunkra kelnénk, nézzünk előbb körül a saját portánkon. A tér óriási dimenzióit fogjuk bejárni, jobban mondván azokon végigszáguldani, tanácsos lesz tehát előbb közvetlen közelünkben felderítő útra menni, hogy a nagy méretekhez fokozatosan hozzászokjunk.

Az ember mindig különös érdeklődést tanúsított az



íránt, ami az érzékelés, a közvetlen szemlélet határain kívül esett. S ez az ismeretlen, titokzatos valami volt az, ami a kutatásra a legnagyobb ösztönzést adta s aminek a tudomány annyi vívmányt köszönhet. Napjainkban az exakt-természettudós vizsgálatai különösen azokba az irányokba terelődtek, melyek a közvetlen érzékelés, sőt elképzelés határain kívül, a végtelen kicsi és a végtelen nagy problémái körül forognak. És a fizikusnak, ki most különös szenvedéllyel veti magát az anyag legparányibb szerkezetének a kutatására, meg a csillagásznak, ki a Mindenség távoli titkait fűrkészi, a kutatása a rendkívül eltérő dimenziók dacára is sohse haladt egymás mellett s egészítette ki egymást annyira, mint éppen napjainkban. Az asztronómus, ki az égitestek fizikai tulajdonságait kutatja, nem nélkülözheti a fizikus eredményeit, melyeket az laboratóriumi kísérletei alapján levezetett; a fizikus meg sehol sem találhatja meg egyes következtetéseinek az igazolását, csak a csillagásznál, ki az anyagot az égitestekben oly körülmények között teheti vizsgálat tárgyává, melyeknek laboratóriumi előállítására nem is gondolhatunk. Az izzó csillagokban óriási magas, laboratóriumban utánozhatatlan hőmérsékleti s nyomásviszonyok uralkodnak s olykor szinte hihetetlen alacsony, máskor meg magas sűrűségű anyagok hatalmas tömegeivel találkozunk az univerzumban.

A fizikus és a csillagász kutatási módja között egyik főeltérés abban nyilvánul meg, hogy míg az előbbi tetszésszerűen közelségbe hozhatja kutatásának tárgyát, az utóbbit óriási s csökkenthetetlen távolságok választják el attól. Billió és billió kilométerekről halunk, mikor a csillagász kutatásairól beszámol. Olyan távolságok, melyeknek kifejezésére külön hosszegységeket kellett bevezetni s melyeket el sem lehet képzelni. Hiszen az elképzelhető dimenziók, úgy a végtelen kicsi, mint a végtelen nagy irányában esők, valójában nagyon szűk határok közé vannak szorítva. Egy pókszálat például még tudunk érzékelni, anélkül azonban, hogy

tökéletes képünk volna a vastagságáról. Ha valaki hirtelen megkérdezné tőlünk, közelítőleg sem tudnók annak méretét megmondani. A fény hullámhossza már messze túl van az érzékelhetőség határán, nem is szólva az atom nagyságáról. A fizikus a milliméter törtrészeivel fejezi ki ezeket a kis dimenziókat, anélkül azonban, hogy ezzel is el tudná azokat képzelni. Hasonló az eset, ha nagyobb távolságokra gondolunk. Hogy képzeletünk mennyire cserbenhagy, mutatják azok a tévedések, melyekbe nem is olyan nagy dimenziók becslésénél esni szoktunk. Vajjon hányan tudják megmondani, milyen hosszú a Lánchíd vagy milyen magas a Gellérthegy? Mindezek a dimenziók azonban mégis csak érzékelésünk határain belül vannak s kisebb-nagyobb pontossággal meg tudjuk őket becsülni, jelölül annak, hogy el is tudjuk azokat képzelni. Másképp áll azonban az eset, ha nagyobb távolságokkal lesz dolgunk. Bizonyos határon túl már nemcsak becslési képességünk mondja fel a szolgálatot, hanem a képzelőerőnek is egy más fogalom felhasználásával kell segítségére menni. Az idő fogalma az, mely itt olyan jó szolgálatot tesz, olymódon, hogy a távolságot azzal az időtartammal érzékítjük, mely alatt valamely mozgó test az illető távolságot befutja. S ez az eljárás nem is újkeletű, sőt már akkor szokásban volt, mikor a távolságok kifejezésére az ember nem is használt pontos mértékegységeket. Így beszéltek már a régiek is például egy napi járóföldről. Ma is, ha tegyük fel, két város távolságáról hallunk, legtöbbször már önkéntelenül arra gondolunk, mennyi idő alatt tesszük meg ezt a távolságot vonaton. A legtöbb ember képzetében úgy él az Európa és az Amerika közti távolság, hogy hány napi hajóút kell annak a megtevésére, anélkül, hogy meg tudná mondani, hány kilométer választja el azt a két földrészt egymástól.

A távolságoknak az idővel való kifejezése a csillagászatban is igen gvakran használatos, erre azonban nemcsak minden közlekedési eszköz bizonyul nagyon lassúnak, hanem a hang, az ágyúgolyó, stb. sebessége is, s

rendesen a minden eddig ismertnél nagyobb sebességet, a fénysebességet szokás felhasználni, hogy az előforduló távolságokat ki tudjuk fejezni.

Ha el is tekintünk a földi méreteknél az égiekkel való összehasonlításától, mely utóbbiak mellett az előbiek szinte elenyésznek, azt mondhatjuk, hogy a legutóbbi időkben a Föld már pusztán a közlekedési eszközök bámulatos fejlődése következtében is veszített nagyságából az ember szemében. Néhány száz évvel ezelőtt sokan még gömbalakjában és véges kiterjedésében is kételkedtek. Kétszáz évvel Kr. e. Eratosthenes ugyan már a Föld nagyságát is csodálatos pontossággal meghatározta, mindez azonban a középkorban feledésbe ment s mikor az újkor elején Columbus nagy felfedező útjára kelt, hogy a nyugati irányból jusson el Indiába, nemcsak anyagi nehézségekkel, hanem emberi előítéletekkel is kellett megküzdenie. Columbus hajói három hónapig hányódtak a tengeren, míg elszánt utasai megpillantották az Újvilág földjét, nemsokára pedig megérhetjük, hogy nem is napokban, hanem órákban fogjuk kifejezni a Föld teljes körülutazásának idejét.

A nagy fölfedezések kora már lejárt. Már nem számíthatunk semmi nagy meglepetésre s a geográfus számára inkább csak részlet- és feldolgozó-munka vár. A Föld már szűknek kezd bizonyulni az egyre szaporodó emberiségnek. Számos felsőgeodéziai mérés alapján lakóhelyünk méreteit már nagy pontossággal ismerjük. A Föld átmérője 12.742 kilométer. Tengelyforgása következtében azonban a Föld nem tökéletes gömb, hanem sarkain kissé belapult s ez a körülmény egyenlítői és sarki átmérői között körülbelül 43 km. eltérést okoz. Ez a szabálytalanság azonban olyan kicsiny, hogy ha a Földet megfelelő távolságból, ahonnan már egészen át tudnók tekinteni, például a Holdból néznők, lapultságát szabadszemmel nem is vennők észre. Gondoljuk a Földet 1 méter átmérőjű gömbbel ábrázolva, akkor ezen a gömbön a lapultságból eredő 43 kilométernek mindössze 3.4 milliméter felelne meg. S a Föld leg-



magasabb hegye, az Everest, mindössze 0.7 milliméterre emelkednék ki belőle. Ebből láthatjuk, hogy a Föld aránylag nagyon síma felületű test; vagy inkább azt, hogy nagysága mellett minden más földi objektum mennyire eltörpül. Megbámuljuk az égbenyúló hegy felhőkarcoló csúcsait, elbűvölve tekintünk le a száguldó repülőgépről az alattunk elterülő messze tájra, megkap a horizontbavesző s végtelennek tűnő tengernek síkja, de mindez eltörpül, elenyészik hordozó világunk, a Föld hatalmas dimenzióihoz képest s kicsinységünk tudatában be kell vallanunk, hogy mégis csak óriási valami, melynek tökéletes elképzelésére sem vagyunk képesek.

Ismerve a Föld átmérőjét, könnyen megállapíthatjuk területének vagy akár felületének és köbtartalmának a nagyságát. Kerülete kerekén 40.000 km. Ezt a távolságot óránként 500 km. sebességgel haladó repülőgép 80 óra alatt, vagyis  $3\frac{1}{3}$  nap alatt tenné meg. Jegyezzük meg azonban, hogy a fény, melyet a későbbiekben még gyakran fogunk igénybevenni, hogy a Mindenségben előforduló óriási dimenziókat valahogy szemléltessük, egy rövid másodperc alatt hét és félszer szaladná körül a Földet. Valóban (már ami a sebességet illeti) ezzel semmi más közlekedési eszköz sem versenyezhet.

Talán nem érdektelen megemlítenem, hogy a Föld középsűrűsége öt és félszer akkora, mint a vízé. Ezt az értéket úgy kapjuk, hogy a Föld tömegét elosztjuk térfogatával. A Föld tömege  $6 \times 10^{24}$  kg (24 zérust kellene a 6 után írni, hogy ezt a számot teljes egészében leírjuk. Kimondani? Azt ne is próbáljuk.) A felső rétegek akkora nyomást gyakorolnak az alsókra, hogy a Föld felszínétől a centruma felé haladva a sűrűség egyre növekszik. Ezt az is bizonyítja, hogy az a felületen átlagban csak 2.7, vagyis csak a fele a középsűrűségnek. Szeizmológiai vizsgálatok azt mondják, hogy a centrumban a nagyobb fajsúlyú anyagok, a fémek helvezkednek el és hogy a Föld belseje merevebb az acélnál.



Régi tapasztalat, hogy a Föld belseje felé haladva, a hőmérséklet egyre emelkedik. Körülbelül 30 méterenként 1 fokkal. Ez az adat természetesen csak a legfelsőbb rétegekre vonatkozik s itt se ugyanaz mindenütt. Hogy aztán a Föld belseje felé egyre jobban haladva, a hőemelkedés miként megy végbe, az előttünk ismeretlen. Kétségtelen, hogy vagy száz kilométer mélységben már óriási melegnek kell uralkodnia. A belső mély rétegekből vezetés útján állandóan hő áramlik a külső hidegebbek felé egész a felületig, ahonnan aztán kisugározódik a világűrbe. A Föld állandóan hül, azonban ma már tudjuk, hogy a felület felé áramló hőnek csak egy jelentéktelen része, ötöde sem ered ebből a lehülésből. A legtöbbje radioaktív eredetű. A radioaktivitásnak valószínűleg igen nagy, eddig ugyan még tisztázatlan szerepe lehet az egész univerzumban. A radioaktív jelenségeknek a tanulmányozása a Föld korának a megállapítását vagy legalább is a becslését teszi lehetővé. Tudósok értékelése szerint a Föld kora négy-ötmilliárd év lehet, a földi élet létezését pedig egy milliárd évre becsülik. Ezeken az adatokon a későbbi vizsgálatok természetesen még változtathatnak, a jelenlegi tudományos ismereteink alapján azonban a legmegbízhatóbbak.

Talán már túlsokat is időzünk Földünkön, pedig az a célunk, hogy a távoli világokat ismerjük meg. Ne felejtsük azonban el, hogy örökös lakóhelyünk is égitest s e helyen csak ilyen szempontból foglalkozunk vele. Hogy azonban ezt még jobban megtehessük, hagyjuk el gondolatban s kívülről szemlélve, távolból tanulmányozzuk. A talaj egyre süllyed lábunk alatt, egyre ritkább levegőrétegekbe kerülünk, majd észrevétlenül belekerülünk az üres térbe. Csak egy-egy meteor suhan el mellettünk. A Föld lassan teljes egészében kibontakozik, jól kivethetjük gömbalakját s rajta kontinenseit és a tengereit, amennyiben a felhők ezt meg nem gátolják. A Föld felületének valamivel több, mint a fele ugyanis állandóan felhőbe van burkolva. Merre menjünk? Legjobb lesz, ha egyelőre megállapodunk örökös

kisérőnkön, a Holdon, mely valamennyi égitest közül a legközelebb van hozzánk. Távolsága 384.000 km, ami kereken 60 földugárnak felel meg. Vagyis harminc Földet kellene egymás mellé rakni, hogy a két égitest közötti távolságot kitöltsük. Az óránként 500 kilométerrel száguldó repülőgépnek egy hónapra volna szüksége odaérni, a fénysugár azonban 1.3 másodperc alatt teszi meg ezt az utat.

Hogy elhagyott hazánkat szemmeltarthassuk, helyezkedjünk el egyikén a Hold krátereinek, melyekben ugyancsak válogathatunk. A Hold helyzete a Földhöz képest ugyan nem változatlan, amennyiben ellipszis-alakú pályán kering körülötte, eközben azonban állandóan egyazon oldalát fordítja anyabolygója felé s ez eredményezi azt, hogy a Hold egy és ugyanazon helyéről nézve, a Föld az égboltnak állandóan ugyanazon a helyén mozdulatlanul látszik. Mivel, míg egyhavi keringése közben a Földet körüljárja, annak a Naptól különbözőképen megvilágított részei fordulnak feléje, a Föld ezalatt époly alakváltozásokat fog mutatni, miként a Földről nézve a Hold. Ennél a lassan lefolyó tűneménynél azonban sokkal megkapóbb lehet a felhők játékát követni, miként borítják be azok a Föld más és más részeit, valamint azt, mint bukkannak fel a Földkorong egy szélén új és új alakzatok s mint tűnnek el a láthatók a másik szélén. Mindez bizonyára jól kivethető, hiszen a Föld onnan négyszer akkorának látszik, mint amilyennek mi a Holdat látjuk. 12 óra alatt a Föld képe teljesen megváltozik. Ez a Föld tengelyforgásának a következménye.

Bár a Föld forgása aránylag igen lassú, hiszen 24 órára van szükség, hogy egyszer forduljon meg tengelve körül, mégis óriási nagysága következtében felületének egyes részei igen nagy sebességgel mozognak. Ez a sebesség természetesen legnagyobb az egyenlítő táján, közel 1700 km. óránként. A pólusok felé haladva fokozatosan egyre csökken. Ennek a sebességváltozásnak a hatása ki is mutatható a Föld felületén mozgó

testeken, így elsősorban a légköri és a tengeráramlatokon, melyeknek irányváltozását vonja maga után.

A Föld tengelyforgása oly egyenletesen megy végbe, hogy különös módon alkalmas időmérésre. Évégből a csillagok látszólagos, naponként ismétlődő elmozdulását figyeljük meg az égbolton, mivel a Föld mozgását közvetlenül nem észlelhetjük. Úgy tűnik fel nekünk, mintha az egész égbolt elfordulna, az úgynevezett világ-tengely körül. Pedig ez csak a Föld tengelyforgásának a tükörképe. A tapasztalt nagy egyenletesség dacára is már több ízben felmerült annak a gondolata, mégis nincs-e a Föld forgásában eddig még ki nem derített szabálytalanság. Ha van is ilyen, az csak nagyon kicsi lehet. S újabban tényleg kiderült, hogy a forgásidő nem állandó, hanem periódikusan, habár csak nagyon kis s gyakorlatilag számba nem jövő értékkel változik. Hol növekszik, hol csökken. Ezen a periódikus változáson kívül van egy állandó is. A forgásidő, ha lassan is, de mégis folyton nő, mégpedig évszázadonként körülbelül  $\frac{1}{1000}$  másodperccel. Vagyis a Föld forgása folyton lassúdik. Ezt a Hold vonzása által előidézett ár-apály fékezőereje okozza. Ilyen hatást a Föld is fejt ki a Holdra s ez idézte elő, hogy a valamikor gyorsabban forgó Hold most már állandóan egyazon felét fordítja felénk. Ez a sors vár a Földre is s lesz idő, mikor a Föld tengelyforgásideje egyenlő lesz a Hold keringés-idejével. Ekkor majd mindkét égitest örökké ugyanazon oldalát fogja egymás felé fordítani s mint a Holdon most, úgy a Földön is két hétig fog tartani a nappal s két hétig az éjszaka.

De térjünk vissza a Holdra. Már említettük, hogy szomszédunk 384.000 kilométerre van tőlünk. Sokan nemcsak a pontszerűnek látszó csillagok óriási távolságának, hanem ennek a néhány kilométernek a hallatára is kételkedve csóválják fejüket. Hogyan is lehetne valaminek a távolságát meghatározni, amit meg se közelíthetünk? Ugyanazon elv szerint, ahogy a mérnök határozza meg a távolságát például egy toronynak, melytől



valami akadály, tegyük fel, folyó választja el. Ebben az esetben a mérnök a folyón innen kitűz egy vonalat s ennek hosszát igen pontosan leméri. Azután megállapítja, hogy ennek az alaptávolságnak a két végpontjából nézve a torony iránya milyen szöget zár be az alapul kitűzött távolsággal. Végeredményben tehát azzal az egyszerű geometriai esettel lesz dolga, mikor egy háromszögnek ismerjük az alapját, az ezen levő két szöget s keressük a csúcspontnak (a mi esetünkben a toronynak) az alaptól való távolságát. Ennek a kiszámítása azonban nagyon egyszerű matematikai feladat. Csak azt jegyezzük meg, hogy minél távolabb van a kérdéses objektum, annál hosszabbra kell venni az alaptávolságot, hogy pontos eredményt kapjunk. A Hold esetében ez több ezer kilométert tesz ki (például az egyik pont a berlini, a másik a fokföldi csillagvizsgáló lesz) s a feladat valamivel bonyolultabb. Magát az alaptávolságot sem mérhetjük meg közvetlen, hanem a két végpont földrajzi szélességének és hosszúságának az adataiból ki kell azt számítani. Az alapon levő két szöget pedig a Holdnak a két végpontban egyidejűleg történő megfigyeléséből állapítják meg. Eltérő és körülményesebb kivitel dacára is az elv ugyanaz. A Hold távolságának a meghatározására különben még számos s a most ismertetett, úgynevezett trigonometriai módszernél pontosabb módszer is van. Azért ismertettük éppen ezt, mert ez a legegyszerűbb és mert még a későbbiekben is találkozni fogunk vele.

Nem szabad elfelejtenünk, hogy a Hold távolsága tulajdonképpen nem állandó. Már említettük, hogy ellipsziszalakú pályán kering a Föld körül, melynek egyik gyújtópontjában van a Föld. Az ebből eredő ingadozás a távolságban körülbelül 50.000 kilométert tesz ki. Ha valamelyik adott időpontban pontosan ismerjük a Hold távolságát s ugyanakkor látszólagos átmérőjét is mérjük, egyszerű számítással tényleges átmérőjét is meghatározhatjuk. Így derül ki, hogy átmérője 3.476 km, vagyis valamivel több a Föld átmérőjének a negyedé-



nél. Ha ismét visszatérünk a már egyszer használt szemléltető módhoz s a Földet 1 méter átmérőjű gömbbel ábrázoljuk, akkor a Holdnak egy 27 centiméteres golyó felelne meg. A Földhöz hasonlóan más bolygónak is van holdjuk, illetve vannak holdjaik, de egy sincs, mely aránylag olyan nagy volna anyabolygójához képest, mint ez a mi esetünkben van. A Föld és a Hold akár kettősbolygóknak is tekinthetők. Mégis a Föld tömege több, mint nyolcvanszorosa a sokkal kisebb sűrűségű Holdénak s ezért e két égitest közös súlypontja sokkal közelebb van a Földhöz, mint a Holdhoz. Ez a közös súlypont, mely körül a Föld épúgy kering, akár a holdja, mindössze 4.600 kilométernyire van a Föld centrumától, vagyis nincs is kívül a Földön, hiszen annak sugara több, mint 6.000 km.

A Föld tengelyforgása után másik legfontosabb mozgása a keringése. A Föld, jobban mondva a Föld és a Hold közös súlypontja, nem mozdulatlan a térben. hanem ellipsziszalakú pályán kering egy ránk nézve rendkívül nagy fontossággal bíró égitest, a Nap körül. A Nap a fény, a hő, a mozgás, az élet forrása. Ha a Nap megszűnnék ontani áldó sugarait, éjjeli sötétség lepné el a Földet, minden élet kialudna rajta s a teljes mozdulatlanság és a dermedt hideg világa borulna rá. A gyertya lángja és a villanykörték izzása, a fa és szén melege, a malmokat hajtó szél, a hajókat hordozó folyó, a földet megtermékenyítő eső, gőzgépeink mozgása, az autók és a repülőgépek száguldozása, mind, mind a Nap hősugarainak köszöni létezését. S miként a Földre, ugyanilyen nagy fontossággal bír a Nap a többi bolygóra nézve is, melyek körülötte keringenek s melyekkel együtt alkotja a Naprendszer.

A Nap a hozzánk legközelebb lévő csillag. Ha nagysága a Mindenség többi csillagjáéval összehasonlítva csak középszerű is, óriásinak kell azt mondanunk, ha a Földdel vagy a Holddal állítjuk szembe. Tényleges dimenzióit, a rajta végbemenő lenyűgöző tünetények méreteit csak távolságának az ismeretével állapíthatjuk

meg, azért az utóbbi meghatározása igen nagy fontosságú. Igen nagy fontosságú azonban még azért is, mert fundamentális hosszegységül szolgál a csillagászatban. Ezért *csillagászati egységnek* is szokás nevezni. Nem szabad elfelejtenünk, hogy a Föld-pálya ellipsziszalakja következtében a Nap tényleges távolsága nem állandó, hanem szakaszosan változik. A legnagyobb és a legkisebb érték között a különbség majdnem 5,000.000 kilométerre rúg. Csillagászati egységül a középértéket szokás venni.

Magának a távolságnak a meghatározására számos módszert eszeltek ki, ezeknek a részletezésébe azonban e helyen nem bocsátkozhatunk. Szolgáljon megnyugtatósunkra, hogy ezek, bár elvben teljesen eltérnek egymástól, mind kielégítően megegyező eredményhez vezettek s középértékül 149,450.000 kilométert adnak. Hogy erről az óriási távolságról némi fogalmat nyerjünk, gondoljunk arra, hogy ha ezt az utat óránként 100 km. sebességgel megállás nélkül rohanó vonattal akarnók megtenni, úgy 170 évre volna szükségünk. (Egy kíváncsi amerikai még azt is kiszámította, hogy a vasuti jegy 3,720.000 dollárba kerülne.) A sebes fénynek 499 másodpercre, vagyis valamivel több mint nyolc percre van szüksége ennek a távolságnak a megfutására.

Ismerve a Föld távolságát a Naptól, könnyen kiszámíthatjuk pályájának kerületét. Ha ezt osztjuk a keringési időben, vagyis egy évben levő összes másodperceknek számával, megkapjuk a Föld mozgássebességét. Ez kereken 30 km. másodpercenként, úgy hogy a Föld körülbelül 7 perc alatt mozdul el akkora darabbal, amekkora az átmérője.

A Nap látszólagos nagysága alig több, mint a Holdé, sőt olykor (pl. teljes napfogyatkozáskor) az utóbbi teljesen eltakarja a Nap korongját. Hogy ez megtörténhetik, az e két égitest távolságának nagy eltérésében leli magyarázatát. Valójában a Nap 1,390.000 km. átmérőjű, ami több, mint százszorosa a Föld átmérőjének s kereken egyszázadrésze a csillagá-

szati egységnek. Ha egy olyan nagy üres gömböt képzelünk, amekkora a Nap s a Földet ennek közepébe helyezzük, akkor a Hold kényelmesen végezhetné benne keringését, mert pályája alig volna valamivel messzebb a felénél annak a távolságnak, mely a gömb középpontja és héja között van.

Mivel a gömbalakú testek felülete a sugár négyzetével, térfogata pedig a sugár köbével arányos, a Nap felülete 12.000-szer, térfogata pedig 1,300.000-szer akkora, mint a Földé. Közepsűrűsége azonban jelentékenyen kisebb, mindössze másfélszerese a víz sűrűségének s ezért tömege csak 332.000-szerese a Föld tömegének. A Nap óriási tömegének következtében felületén sokkal nagyobb a nehézségi erő, mint a Földön. Egy kg. súlya a Nap felületén 28 kg. s olyan órának az ingája, mely nálunk egyet leng egy másodperc alatt, ott ugyanazon idő alatt ötöt lengene. Középtermetű ember súlya kitenne vagy húsz métermázsát, vagyis meg se tudna moccanni a saját súlyától.

A színképelemző vizsgálatok szerint a Nap anyagának tetemes részét fémek alkotják, ezek azonban a magas hőmérséklet következtében mind gázállapotban vannak. A sűrűség a felületen nagyon alacsony, a Nap belseje felé haladva azonban egyre nő s középen, ahol több millió atmosféra-nyomás uralkodik, óriásinak kell lennie. Ugyanez hozza magával azt is, hogy a hőmérsékletnek is több millió fokra kell a centrumban rúgnia. A felületen a hőmérséklet körülbelül 6000 fok.

A Nap rengeteg energiát bocsát ki magából. Fényessége közel félmilliószor akkora, mint a Holdé holdtöltekor. Tízezerszer fényesebb, mint az olvadó platina s az elektromos ívfény is csak sötét folt volna a Nap elé helyezve. Az az energia, mely a Föld egy négyzetméterét éri, 1,81 lóerőnek felel meg. Egy négyzetkilométerre tehát 1,810.000 lóerő jut. Gondoljuk azonban meg, hogy a közel 150 millió kilométer távolságban lévő Föld gömbje csak jelentéktelen, mindössze



2200 milliomodrészét fogja fel a Nap sugarainak, melyek a Napból a tér minden irányába szóródnak széjjel. Óriási energiaforrás ez. Magán a Napon 84.000 lóerőnek felel meg az az energia, mely felületének egy négyzetméternyi területét hagyja el. Ha a Nap felületét 12 méter magas jégréteg borítaná, úgy ennek elolvasztásához a kibocsátott hőnek mindössze egy percre volna szüksége.

A Napnak természetesen a felületi viszonyait ismerjük a legjobban. Hatalmas légkör borítja, melynek több rétegét különböztetjük meg. Ezek egyike a fotoszféra, mely a Nap tulajdonképeni felületének is tekinthető. Ebben és a felette elhelyezkedő kromoszférában figyelhetők meg a napfoltok, melyek nagysága eléri néha az 50.000 kilométert is, tehát messze felülmúlja a Föld nagyságát. A napfolt rendszeren egy látószólag sötét magból (umbra) s ezt körülvevő sugárszerű képződményből (penumbra) áll. A foltok többnyire csoportosan lépnek fel; folyton változnak, keletkeznek és eltűnnek. Gyakoriságuk periodikusan változik, a periódus hossza azonban nem állandó, közepben tizenegy év. A kromoszférából törnek ki az olykor óriási magasságot elérő protuberanciáknak nevezett naplángok, melyek néha néhány órán belül képződnek. 500.000 kilométernél magasabb protuberanciákat is észleltek. A kromoszféra kifelé egyre ritkul s külső rétegét fokozatosan egyre könnyebb elemek gázai alkotják. Azután következik a Nap legkülső burkát képező napkorona, melyet eddig csak napfogyatkozásakor sikerült észlelni.

A Földhöz hasonlóan a Nap szintén végez tengelyforgást. Ez legjobban a napfoltok mozgásán figyelhető meg. Az egyenlítői részek forgásideje azonban rövidebb, mint a tőle távolabbesőké s így a Nap forgásidejét nem is lehet egy számmal megadni. Az egyenlítőn ez kerekén 25 nap, a sarkokon néhány nappal több.

Eddig három égitesttel volt alkalmunk megismer-



kedni. Ránk nézve természetesen a lakóhelyünkül szolgáló Földnek és az életadó Napnak van a legnagyobb fontossága. A Napnak azonban még számos olyan állandó kísérője, bolygója van, mint a Föld. A mi bolygónk nagyságra nézve csak az ötödik helyet foglalja el ezek között. A távolság növekedése szerint sorrendben a következő, úgynevezett nagybolygó kering a Nap körül: Merkúr, Venus, Föld, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus. Minden nagybolygó pályája, a körtől nem nagyon eltérő ellipszis, melynek egyik gyújtópontjában van a Nap. Legközelebb hozzá mintegy 58 millió km. távolságban társai között a legkisebb, a mindössze 5000 km. átmérőjű Merkúr végzi pályafutását. Legtávolabb pedig, pályájával mintegy a bolygórendszer határát képezve, a Földünknel térfogatra hatvanszor nagyobb Neptunus. Távolsága a Naptól 4,494,000.000 km., tehát harmincszor távolabb végzi keringését, mint a Föld. A rendszerben fellépő fontosabb viszonyokról különben a mellékelt táblázat által szerezhetünk áttekintő képet.

A bolygó neve	Középtávolság a Naptól		Keringési idő években	Középssebesség mp-ként	Pályahajlás	A bolygó átmérője	A bolygó tömege
	csillag egy- ségben	millió km-ben					
Merkúr	0.387	58	0.24	47.8	7.0	0.39	0.04
Venus	0.723	108	0.62	35.0	3.4	0.97	0.81
Föld	1.000	149	1.00	29.8	0.0	1.00	1.00
Mars	1.524	228	1.88	24.1	1.9	0.53	0.11
Jupiter	5.203	778	11.86	13.1	1.8	10.95	316.34
Saturnus	9.539	1,426	29.46	9.6	2.5	9.0 2	94.90
Uranus	19.191	2,868	84.0 1	6.8	0.8	4.00	14.66
Neptunus	30.071	4,494	164.78	5.4	1.8	3.92	17.16

Feltűnő, hogy valamennyi bolygó közel ugyanabban a síkban végzi keringését. Legnagyobb,  $\frac{1}{100}$ -nyi eltérést a Merkurnál találunk, mely egyúttal abban is elüt a többi társától, hogy pályája a legelnyultabb. Észrevehető szabályszerűség nyilvánul meg a bolygók keringésidejében. Egy tekintetre megállapíthatjuk, hogy minél távolabb van a bolygó, annál hosszabb a keringésideje. Ennek oka nemcsak a természetszerűleg növekedő pályában van, hanem a bolygók tényleges sebességében is. A másodpercenként közel 48 km. sebességgel száguldó Merkúr 88 nap alatt futja be pályáját; a Föld ezt egy év alatt teszi meg; a másodpercenként mindössze 5 kilométert megtevő Neptunusnak ellenben 165 évre van szüksége, hogy pályájának ugyanazon helyére visszatérjen.

Hogy a Naprendszerben uralkodó nagyságviszonyokat könnyebben elképzeljük, osszuk el a tényleges méreteket egy milliárddal. Ekkor 1 millió kilométernek a mi kicsiben megkonstruálandó rendszerünkben 1 méter felel meg. Ebben a kis miniatűr világban egy 139 cm. átmérőjű gömb fogja a Napot képviselni. Tőle 58 méterre kell elhelyezni a Merkurt, illetve egy 5 milliméter átmérőjű kis bolygót, melyet például egy cseresznyemaggal helyettesíthetünk. 108 méterre lesz a Venus, 149 méterre a Föld. Mindkettőt egy-egy cseresznyével szemléltetjük. 228 méter távolságban lesz a 7 mm. átmérőjű Mars s ettől jóval messzebb, körülbelül háromnegyed kilométerre a Jupiter. Ez a bolygók legnagyobbika, demonstrálására 14 cm. átmérőjű labdát kell szereznünk. A két legutóbbi bolygó közé vagy ezer mákszemet szórunk széjjel, jelképezve ezzel azokat a kis, alig néhány km. átmérőjű égitesteket, melyek a Mars és a Jupiter pályája között keringenek. Eddig már több, mint ezret fedeztek fel ezekből az úgynevezett kisbolygókból. Ha a Jupitert elhelyeztük, még egyszer olyan távolságban, vagy másfél kilométerre, pontosabban 1426 méterre, egy papírlapból kivágott körgyűrűt teszünk le. A gyűrű külső átmérője

28, belső átmérője 18 cm. legyen és a gyűrűbe egy 6 cm. sugarú golyót helyezünk el. Ez lesz a Saturnus a jólismert gyűrűjével. Az Uranus körülbelül 3 km. (pontosabban 2868 m.) távolságban egy barackkal szemléltethető. Ugyanúgy a Neptunus is, csak hogy a Napot jelképező gömbtől négy és fél kilométerre kell gyalogolnunk, hogy a valóságnak megfelelő helyre tegyük.

A fejezet elején igyekeztünk némi fogalmat adni a Föld nagyságáról. Az előbb közölt táblázat utolsó két oszlopára rátekintve láthatjuk, hogy lakóhelyünket négy bolygótársa is tetemesen felülmulja. A tizenegyszer akkora átmérőjű Jupiter több mint ezerszer akkora térfogatú s több mint háromszázszor súlyosabb, mint a Föld. Valamennyi bolygó nemcsak külön-külön, hanem együttvéve is messze elmarad azonban a Nap nagyságától. A végtelen térben pedig ez is csak por-szem, sőt ha csak rendszerének eddig ismert határait tekintjük, ezen belül is már meglehetősen eltörpül. Hiszen mint láttuk, egy 9 km. átmérőjű gömbben, mely a bolygórendszert jelenti, mindössze 139 cm. átmérőjű golyó a Nap. Már ebből szembeötlik, hogy a térben az anyageloszlás meglehetősen ritka. Nem szabad ugyan elfelejtenünk, hogy a bolygókon kívül még más égitestek is keringenek a Nap körül, nevezetesen a meteorok és az üstökösök és hogy még a Neptunuson túl is lehet bolygó, melyről nincs tudomásunk. Ez azonban az anyag térbeli eloszlásáról tett kijelentésünket nem módosítja. S minél jobban távolodunk, annál üresebb lesz a tér, s átlagban annál kisebb lesz a „sűrűsége”, míg nem nagyon-nagyon hosszú út után ismét nem bukkanunk egy olyan égitestre, melyről feltételezhetjük, hogy a Napunkéhoz hasonló rendszerű.

Az előbb említett meteorok apró égitestek, melyek a Nap körül rajokban keringenek. Csakis akkor észlelhetők, ha a Földdel találkozva, annak légkörébe jutnak, amikor is az úgynevezett csillaghullás tűneményét idézik elő. A gyors mozgás által keletkező nagy sur-



lódástól a légkörben izzásnak indulnak, majd elolvadnak s mielőtt a földre érnének, el is párolognak. A meteorit névvel jelölt égitestek nagyobbak a meteoroknál; ezek néha a földig jutnak s abba gyakran mélyen befúródnak.

Az üstökösök szintén kistömegű égitestek, melyek pályájuknak csak a Nap közelébe eső részében észlelhetők. Ilyenkor fényességük megnő s magukból olykor hosszú csóvát bocsátanak ki, melynek hossza több millió km. is lehet. Vannak periódusos üstökösök, melyek igen elnyúlt ellipszisalakú pályán keringenek s meghatározott idő múlva visszatérve a Nap közelébe, láthatók lesznek. Az eddig ismert 25 periódusos üstökös közül legrövidebb keringésidejű (3.30 év) az Encke-féle, leghosszabb keringésidejű (76 év) a Halley-féle. A többi üstökös pályája parabola vagy hiperbola; egyesek felfogása szerint minden üstökös Naprendszerünkhöz tartozik s valamennyinek a pályája ellipsis, némelyiké azonban annyira elnyúlt, hogy a visszatérés esetleg csak évezredek múlva következik be.

Napunk, mint olyan, meglehetősen magában áll a nagy Mindenségben. Óriási utat kell megtennünk az üres térben, hogy hozzá hasonló égitestekre bukkanjunk. Mielőtt erre a hosszú útra kelnénk s Naprendszerünket végleg elhagynók, menjünk még egyszer végig rajta. Induljunk ki a Napból, kövessük annak egyik fénysugarát. Ennek sebessége 300.000 km. másodpercenként, a természetben előfordulható sebességek közül a modern felfogás szerint a legnagyobb. Felhasználva tehát ezt a képzeletbeli közlekedési eszközt, mellyel a Földet hétszer utazhatnók körül egy másodperc alatt, egy pillanat s már kikerülnénk a Nap forró légköréből s áttörve a protuberanciák lángnyelvei között és a ritka koronán, 3 perc múlva már a Merkuron tarthatnánk pihenőt. A bolygók eme legkisebbike kapja a legtöbb hőt a Naptól s mivel nincsen tekintetbejövő légköre, igen magas hőmérsékletnek kell uralkodnia felületének azon a felén, amely a Nap

felé fordul. Legújabb radiometriai mérések alapján ez lehet vagy  $350^{\circ}$  C. Legnagyobb valószínűség szerint állandóan egyazon oldalát fordítja a Nap felé, ezen tehát örökös nappal s elviselhetetlen hőség, a másik, árnyékban lévő részen meg örökös éjjel és mindent megfagyasztó hideg uralkodik. A két rész óriási hőmérsékletkülönbségét semmi hőkicserélő légkör sem enyhíti. Hagyjuk el ezt a sívár, sok tekintetben a mi Holdunkra emlékeztető bolygót.

A fénysugár könnyű szárnyán újabb három perc múlva a Venust, jobban mondva a Venus pályáját érjük el, mert nem biztos, hogy az ebben a pillanatban pályájának ép ezen a helyén fog tartózkodni. De már jön is felénk, száguldva, másodpercenként 35 kilométert hagyva maga után ez a méreteiben Földünkhöz igen hasonló égitest. Ki ne ismerné a ragyogó esthajnali csillagot? A Venus az. Vastag atmoszféra burkolja be s lehetetlenné teszi felületének a tanulmányozását. Még a forgásidejét sem sikerült eddig biztosan megállapítani.

A nyolcadik percben a Föld és a Hold mellett haladunk el. Az egyiken az élet virulóban, a víz- és levegőnélküli kihalt Holdon meg örökös némaság. De itt ne álljunk meg, vegyünk végleg búcsút tőlük. Indulásunk után 13 perc múlva már elérjük a Mars pályáját. Sajnos, ebben a pillanatban pályájának éppen más részében tartózkodik s így nem tudjuk eldönteni azt a sokat vitatott kérdést, melyet titokzatos csatornái vetettek fel. Pólusain azonban jól kivehetjük a fehér foltokat, melyek a Föld sarkmezőire emlékeztetnek, továbbá a felületének egyéb részein lévő világos és sötét foltokat, melyeket szárazföldeknek, illetve tengereknek tartanak. Mióta megállapítást nyert, hogy a Marson uralkodó hőmérséklet nagyjában megegyezik a Földével s légkörében az oxigén és a vízgőz létezését is kimutatták, tudományos körökben is valószínűbb színben tűnik fel az élet lehetősége rajta. Különös érdekesége ennek a bolygónak két apró, mindössze néhány

km. átmérőjű holdja, melyek közvetlen közelében nagy gyorsasággal keringenek körülötte. E holdaknál (néhány kivételével) alig nagyobb az a sok kis bolygó, melyek a Marsot elhagyva utunkba esnek. A Mars és a Jupiter pályája között végzik keringésüket s eddig már több mint ezret fedeztek fel belőlük. Némelyikük igen elnyúlt pályán mozog s pályasíkjuk hajlása is olykor feltűnő nagy értékű.

Félóráig tart, míg a kisbolygók gyűrűjén áthaladunk s a bolygók óriásához, a Jupiterhez érünk. Ez a bolygó, akár tömegre, akár térfogatra nagyobb, mint valamennyi többi társa együttvéve. S tíz óra sem kell, hogy ez a hatalmas égitest megforduljon tengelye körül. Vastag légkör borítja s ez lehetetlenné teszi közvetlen felületének a vizsgálatát. Kilenc holdja közül kettő is nagyobb, mint a Merkúr bolygó. A holdak közül különös érdekességre tarthat számot az utoljára felfedezett legkülsőbb, amennyiben ez holdtársainak a keringésével és anyabolygójának a forgásával ellenkező irányban végzi keringését.

Már egy órája vagyunk úton, mikor Naprendszerünknek Jupiter után legnagyobb bolygójához, a Saturnushoz érünk. Átmérője 120.000 km. tömege 95-szöröse a Föld tömegének. Tíz holdja van, legnagyobb érdekessége azonban a gyűrűje. Ez valójában igen nagyszámú apró égitest halmaza, melyek a Saturnus körül keringenek. Magának a Saturnusnak 30 évebe kerül, hogy pályáját a Nap körül bejárja. Forgásideje valamivel több, mint 10 óra.

Saturnus csodás világát elhagyva, egyre elhagyottabb vidékre kerülünk. Ujabb másfélórás út, míg eljutunk a legközelebbi bolygóhoz, az Uranushoz. Átmérője ugyan négyszer akkora, mint a Földé, de a nagy távolság miatt nem is látható már szabadszemmel tőlünk. Csak 1781 óta ismeretes s most sem tudunk sokat róla. Négy hold kering körülötte, még pedig az Uranus pályasíkjára majdnem merőleges síkban.

A sebes fénnel négy órán át kell utaznunk, hogy



a Napból bolygórendszerünk határához, a Neptunus pályájáig érjünk. Rohanásunk közben olykor hátra tekintve a Nap egyre veszít nagyságából, a fényéből és áldásos hőjéből, a bolygók egyrésze meg egymásután vész el a távolban. Így érünk a pályáján aránylag lassan mozgó Neptunushoz. 165 év a keringésideje, úgy hogy mióta felfedezték (1846), még alig egy harmadát futotta be pályájának. Felfedezése az elméleti csillagászat legszebb diadala. Röviddel az Uranus felfedezése után ugyanis észrevették, hogy annak számítás útján nyert pályafutásában nagy szabálytalanságok mutatkoznak. Ezt egy addig nem ismert bolygó vonzása által okozott háborgásoknak tulajdonították. Leverrier e háborgások alapján ki is számította az elméleti égitestnek a pályáját s megadta a helyét az égen. S Galle német csillagász a megadott hely környezetében meg is találta a keresett bolygót, melyet aztán Neptunusnak kereszteltek el. Olyan nagy, mint az Uranus. Egy holdjáról van tudomásunk. Fizikai tulajdonságairól nem sokat tudunk.

Ha a Neptunuson túl még van bolygó, úgy azt előbb-utóbb felfedezik azokból a háborgásokból, melyeket az Uranus és a Neptunus pályafutására gyakorol. Minden erre irányuló vizsgálat eddig még eredménytelen maradt. Ha van is ilyen bolygó, úgy az csak nagyon kicsi lehet, különben perturbáló hatásából már felfedezték volna.

Itt állunk tehát a bolygórendszer határán, azon túl már csak meteorokkal s egy-egy elnyúlt pályájú üstökössel találkozunk. Ha visszatekintünk, ahonnan elindultunk s keressük Neptunus bolygótársait, ezek közül szabadszemmel már csak kettőt tudunk észrevenni; a Jupiter mint egy harmadrendű, a Saturnus mint egy ötödrendű csillag ragyog. Majdnem ilyen fényességűek a Föld és a Venus is. Ezek azonban a legszélsőbb esetben is csak vagy  $1\frac{1}{2}$ — $2^\circ$ -nyira távolodnak el pályafutásuk közben a Naptól s így elvesznek annak sugaraiban. Maga a Nap is csak olyan nagynak

látszik innen, mint a Földről a Venus. Csak persze sokkal fényesebbnek. Még mindig 520-szor annyi fényt ad, mint amennyit a Föld kap holdtöltekor a Holdtól. A napsugarak hőenergiája azonban 900-szor kisebb s ha a Neptunus a ráeső sugárzásból semmit se verne vissza, hanem azt mind elnyelné, akkor se igen tudna felületének a hőmérséklete 50 abszolút foknál ( $-223^{\circ}$  C.) magasabbra emelkedni. Olyan hideg ez, melynél a nitrogén és az oxigén is csak szilárd vagy legföljebb folyékony állapotban maradhat meg.

Ha elhagyjuk a Neptunust is és egyre jobban távolodunk a Naptól, egyre gyengül hősugárzásának az ereje, egyre gyengül a fényessége is. Végre olyan helyre érünk, ahonnan a Nap külsőre semmiben sem különbözik az égbolt többi ragyogó csillagától. Elveszti domináló szerepét s elfoglalja azt a szerény helyet, mely csillagtársai között egy nagyobb rendszerben jutott ki osztályrészül. Ennek a rendszernek a tagjai megannyi napok, óriási távolságban egyik a másiktól. A Centaurus csillagképben van egy fényes csillag, e csillagkép alfája. Vegyük efelé utunkat. Jelenlegi ismereteink szerint ez a csillag van hozzánk legközelebb.

Négy óráig tartott, míg a sebes fénnel bolygórendszerünk határához értünk. De vajjon meddig kell utaznunk, hogy Napunk legközelebbi csillagtársát elérjük?

Széduletesen gyors „fény-utazásunkról” is le kell mondanunk és a gondolat szárnyán tennünk meg az utat, mert különben több mint négy évet kellene az űrben eltöltenünk, hogy célhoz érjünk.

## II. FEJEZET.

### A MI SZÜKEBB ÉRTELEMBEN VETT VILÁGRENDSZERÜNK: A TEJÚTRENDISZER

Naprendszerünk csak egy sziget a nagy Minden-ségben. Ha derült éjjelen feltekintünk a ránkboruló égboltra, a rajta ragyogó csillagok fénye megannyi ilyen sziget létezéséről küld hozzánk hírt. Mindezek a csillagok olyan messze vannak egymástól, hogy szinte elvesznek a térben és csak óriási fényüknek köszönhető, hogy egyáltalában tudomásunk van róluk.

Newton volt az első csillagász, kinek a csillagok távolságáról helyes fogalma volt. A gravitáció elméletének alapján kimutatta, hogy a csillagoknak sok százszor kell távolabb lenniök a Saturnusnál, mert különben vagy belerohannának a Napba, vagy keringenének körülötte. Ha a Nap környezetében 1000 csillagászati egységnyi<sup>1</sup> távolságon belül létezne égitest, melynek tömege ha csak egyszázada volna a Nap tömegének, akkor ennek vonzóereje annyira módosítaná bolygóink, elsősorban az Uranus és a Neptunus pályafutását, hogy a zavarokból már megállapították volna létezését, ha esetleges kis fényessége miatt nem is volna látható. Jelenlegi ismereteink szerint a hozzánk legközelebbi csillag 272.000 csillagászati egységnyi távolságban van tőlünk. Ebből a távolságból Napunkat is csak csillagnak látnók s a jelenlegi legnagyobb távcsővel sem bírnánk bolygói közül egyetlen egyet sem észrevenni. A szabadszemmel látható csillagoknak legtöbbje százszor van még ennél is távolabb s a távcsővel látható csillagok közül számos több ezerszer.

Nem szorul magyarázatra, hogy a csillagok távolságának a meghatározása mily nagy fontosságú s ezért a csillagászat egyik legfontosabb feladatát is képezi. A

<sup>1</sup> Tudjuk, hogy 1 csillagászati egység a Föld távolsága a Naptól, vagyis 149,450.000 km.



csillagtávolságok ismerete teszi lehetővé, hogy a csillagok térbeli eloszlásáról tökéletes képet nyerjünk. Sokáig teljesen meddő volt minden kísérlet, mely a csillagok távolságának megállapítására irányult. Azok a módszerek, melyek bolygórendszerünkben sikerrel jártak, itt eredménytelennek bizonyultak. S a műszerek is sokáig nem rendelkeztek megfelelő tökéletességgel.

Mikor a Hold távolságáról beszéltünk, említettük, hogy a *trigonometriai távolságmeghatározások* csak akkor vezetnek célhoz, ha megfelelő nagyságú alaptávolsággal rendelkezünk. Ott a Föld felületének két egymástól minél messzebb fekvő pontját választottuk ennek az alaptávolságnak a végpontjául. A csillagok távolsága azonban sokkal nagyobb, semhogy megállapításához a Föld megfelelő hosszú alapot tudna nyújtani. Mégis a trigonometriai módszer volt az, mely a csillagtávolságmeghatározásnál először nyert alkalmazást s mely egyúttal alapját képezi a többi távolságmeghatározási módszereknek is. Csakhogy ebben az esetben nem a Föld felületének, hanem a pályájának a két pontja szolgáltatta az alaptávolságot. A Föld keringése közben félév múlva körülbelül 300 millió kilométerre távolodik el előbbi helyétől s ez elégséges alapot nyújt a trigonometriai módszer alkalmazásához. Azonban nem minden esetben. Hiszen a legközelebbi csillag távolsága is majdnem 150.000-szerese a földpálya átmérőjének. (Olyan az eset, mint mikor egy háromszög alapja egy deciméter és az alapon két szög megméréseével kellene kiszámítanunk a háromszög 15 km. hosszú magasságát! Természetesen a két szög alig különbözik a  $90^\circ$ -tól.) Minél távolabbi égitestekkel van dolgunk, annál kisebb lesz a mérés eredményének a pontossága s bizonyos határon túl teljesen megbizhatatlanná válik. Olyan távolságoknál, melyek ötmilliószor vannak távolabb a Napnál, még 10—15 százalék pontossággal határozható meg a távolság. Még ennél kétszer messzebb lévő csillagoknál is tűrhető értékek nyerhetők. Azon túl azonban a trigonometriai módszer felmondja

a szolgálatot. Szerencsére újabban már számos egyéb módszer birtokába jutottunk, melyeknek pontosságát a nagy távolság nem befolyásolja. Mielőtt ezekre térnénk, ismerjük meg azokat a hosszegységeket, melyekkel most dolgozni fogunk.

Ha az égitestek távolságát kilométerben vagy akár csillagászati egységben akarnók kifejezni, olyan óriási számokat kapunk, melyeknek használata sem az áttekintés, sem a kezelhetőség szempontjából nem ajánlatos. Ezért vezették be a fényév fogalmát. Ezen azt a távolságot értjük, melyet a másodpercenként 300.000 kilométert megtevő fény egy év alatt tesz meg. Átszámítva csillagászati egységekre, illetve kilométerre,  $1 \text{ fényév} = 63,310 \text{ csillag. egység} = 9.461 \times 10^{12} \text{ km}$ . A fényév alkalmazása különösen a laikusok körében örvend nagy népszerűségnek. Szakmunkákban inkább a *parszek* használatos. Ez a hosszegység onnan kapta nevét, hogy ekkora távolságból a földpálya átmérőjét  $1''$  (egy ívszekundum) szög alatt látnók.  $1 \text{ parszek} = 3.26 \text{ fényév} = 206.265 \text{ csillagászati egység} = 3.083 \times 10^{13} \text{ km}$ .

Jelenleg mindössze 18 csillag ismeretes, melynek távolsága 13 fényévnél kisebb s mindössze 6 csillagról tudunk, mely 10 fényévnél közelebb van hozzánk. Ha a Nap szomszédságában lévő csillagok térbeli eloszlását nézzük, meglepő eredményre jutunk. Átlagban 16 köbparszek az a térfogat, amelyre egy csillag esik. Szemléltető hasonlattal élve olyan ez, mintha homokszemeket 100 km. távolságban helyeznénk el egymástól. A tényleges „térsűrűség” ugyan bizonyára nagyobb, mert sok csillag távolságát nem ismerjük, melyek pedig közel lehetnek hozzánk. Mégis a fenti hasonlat igen szemléltető a csillagok térbeli eloszlására.

Bessel volt az, kinek 1838-ban először sikerült csillagtávolságot meghatározni. A Hattyú csillagkép egyik csillagiáét, mely 11 fényévre van tőlünk. A csillagok távolságának a meghatározása jelenleg számos csillagvizsgáló intézetnek a fő munkaprogramját képezi.

Eddig már néhány ezer csillag távolságát ismerjük. Ezeknek azonban csak körülbelül tíz százalékánál nyert a trigonometriai módszer alkalmazást. A többenél csak más, közvetett módszerek vezettek célhoz. Hogy a többi, jelenleg alkalmazást nyert eljárást megértsük, feltétlenül szükséges, hogy a csillagok egyik legfontosabb tulajdonságát, nevezetesen a fényességet, behatóan tárgyaljuk.

Ha feltekintünk a csillagos égboltra, felületes szemléletre is feltűnik az a változatosság, mely a csillagok fényességében mutatkozik. Vannak csillagok, melyek ragyogó fényükkel rögtön magukra irányítják figyelmünket, mások meg alig vehetők ki szabadszemmel. Szinte magától kínálkozik fel a csillagoknak fényességük szerint való osztályozása s ez az eljárás már évszázadokra nyúlik vissza. Nagyon régi szokás a csillagokat fényességük alapján nagyságrenddel, magnitúdóval jelölni. Ez a jelölés természetesen nem jelenti a csillagok tényleges nagyságát. Még az ókorban hat nagyságrendbe sorozták a szabadszemmel látható csillagokat. A körülbelül húsz legfényesebbet elsőrendűnek vették, a még éppen látható leghalványabbakat hatodrendűeknek. A távcső feltalálása után ezt az osztályozást kiterjesztették a halványabb csillagokra is. Kezdetben azonban minden közös megállapodás nélkül annak mikéntje felől. S ennek elmulasztása azt a zavaró körülményt vonta maga után, hogy különböző csillagászoknál igen eltérő nagyságrenddel találjuk jelölve ugyanazt a csillagot.

Herschel jött rá vagy száz éve, hogy az elsőrendű csillagok közelítőleg százszor olyan fényesek, mint a hatodrendűek. Ha ezt elfogadjuk s megállapodunk abban, hogy két egymásután következő nagyságrendű csillag fényességviszonya mindig ugyanaz legyen, akkor számítással könnyen megállapítható, hogy egy bizonyos magnitúdójú csillag közelítőleg  $2^{1/2}$ -szer (pontosabban 2.5128-szor) fényesebb, mint az utána



következő halványabb. Ilyen módon egy 1. rendű csillag

2.5-szer fényesebb, mint egy 2 rendű csillag					
6.3-szor	„	„	3	„	„
15.9-szer	„	„	4	„	„
39.8-szor	„	„	5	„	„
100.0-szor	„	„	6	„	„
251.2-szer	„	„	7	„	„

és így tovább.

A csillagok fényességének pontosabb meghatározására a magnitúdók törtrészei is használatosak (pl. 4.36 magnitúdó). Mivel elsőrendűnél fényesebb csillagok is előfordulnak, azért a rendszert a negatív irányba is ki kellett terjeszteni. Így 0. rendű az a csillag, mely 2.5-szer fényesebb, mint egy 1. rendű; — 1. rendű, mely 2.5-szer fényesebb, mint a 0. rendű és így tovább. Hogy néhány példát mondjunk, a Capella fényessége —0.1, a Siriusé —1.6, a teliholdé —12.5, a Napé —26.7 magnitúdó.

A csillagok most tárgyalt látszólagos fényessége még nem árulja el azok tényleges fényességét. Lehet, hogy két csillag közül a halványabb a valóságban sokkal fényesebb s csak a különböző távolság miatt látszik gyengébbnek. Hogy a csillagok tényleges fényességét egymással összehasonlíthassuk, azokat ugyanabból a távolságból kellene szemlélnünk. Közmegegyezéssel erre a 10 parszek távolságot választották s azt a fényességet, aminőnek a csillagok ebből a távolságból látszanának, a csillagok *abszolút fényességének* hívjuk. A Napot ebbe a távolságba hozva, az mindössze + 4.85. rendű csillagnak látszanék. A Nap abszolút fényessége tehát + 4.85. Ugyanígy kapjuk Siriusra a + 1.27 magnitúdót. A Sirius tehát a valóságban 3.58 magnitúdóval, vagyis 27-szer fényesebb, mint a Nap.

A most elmondattakból nyilvánvaló, hogy a távolság, az abszolút és a látszólagos fényesség között szo-

ros összefüggés van, úgyannyira, hogy ha e három adat közül kettőt ismerünk, akkor a harmadikat mindig kiszámíthatjuk. A csillagok látszólagos fényességének a meghatározására a csillagásznak ma már bámulatos érzékenységgű műszerek állnak a rendelkezésére. Legtöbbször ez az eljárás fotográfiai úton történik. Ha ezenkívül az illető csillag távolsága is ismeretes, akkor az abszolút fényesség is megállapítható. De mi most nem erre, hanem éppen a távolságra vagyunk kíváncsiak s ezt akarjuk meghatározni az abszolút és a látszólagos fényességből. De honnan vesszük a csillag abszolút fényességének az értéket? Éppen erről akarunk szólni. Hogy azonban ezt megérthessük, újra ki kell térnünk s a csillagoknak a fényessége után egy másik igen fontos sajátosságáról, nevezetesen a *színképről* kell egyet-mást mondanunk.

Mindenki előtt ismeretes az az iskolai kísérlet, mely a napfény színeire való felbontásából áll. Ha a Nap fényét keskeny résen át üvegprizmára vetítjük s azután az üvegprizmán átmenő fényt fehér ernyőn felfogjuk, azt tapasztaljuk, hogy az előzőleg színtelen keskeny nyaláb a szivárvány (vörös, narancs, sárga, zöld, kék, ibolya) színeiben ragyogó sávvá szélesedett. Az egyes színek folytonosan mennek át egymásba. Tüzetes vizsgálattal azonban észrevehetjük, hogy a színkép eme folytonos alapját sötét vonalak szakítják meg. Ha mesterséges fényforrás fényét gőzökön vagy gázokon bocsátjuk át, akkor is kapunk ilyen vonalas színképeket s ezekben a színképvonalak fellépése és elhelyezkedése olyan jellemző, hogy erről mindig meg lehet állapítani, milyen anyag gőzével vagy gázával van dolgunk. A Napnál a fényforrásnak a Nap ízzó teste, a gázoknak a Nap atmoszférája felel meg s a Nap színképe hasonló módon nyújt felvilágosítást légkörének az összetételéről. Különös érdeklődésre tarthat számot annak a megemlítése, hogy ilyen módon a héliumnak nevezett anyag létezését már akkor állapították meg a Napon, mikor az a Földön nem is volt még ismer-

retes. A Naphoz hasonlóan a csillagok is adnak színeképet s ez igen fontos adatokat nyújt fizikai tulajdonságaikról. Különböző csillagok általában különböző színeképet adnak, jelélül annak, hogy atmoszférájukban különböző viszonyok uralkodnak. A csillagokat színeképük szerint is szokták osztályozni. Több ilyen osztályozás közül leghasználatosabb jelenleg a Cannon-féle, mely bizonyos elv szerint megállapított típusok jelölésére a következő betűket használja: O, B, A, F, G, K, M, N, R. (A Nap színeképe után a G csoportba tartozik.) Ezek után lássuk most azt, hogy ad nekünk a színekép felvilágosítást a csillag abszolút fényességére nézve.

Szedjük össze azokat a csillagokat, melyeknek a távolságát már meghatározták. Ezeknek a látszólagos fényessége is már mind ismeretes. Magától értetődik, hogy e két adat birtokában az ezeknek a csillagoknak az abszolút fényességét is kiszámíthatjuk. Csoportosítsuk most ezeket a csillagokat színeképük szerint. Vegyük például először az F típusúakat tekintetbe s rendezzük őket abszolút fényességük növekedése szerint. Ezeknek a csillagoknak a színeképében nem találunk semmi különbséget se a színeképvonalak előfordulása, se azok elhelyezkedése tekintetében, hiszen ugyanahhoz a típushoz tartoznak. Tüzetes vizsgálat után mégis megállapíthatjuk, hogy az egyes színeképvonalak erősségében igen is eltérés van. S az erősség változása oly feltűnő összefüggést mutat, hogy az egyikből a másikra lehet következtetni. Ennek alapján olyan törvényszerűséget lehet levezetni, mely lehetővé teszi, hogy a csillagok színeképéből azok abszolút fényességét határozhassuk meg. Ha azonban az abszolút fényességet ismerjük, úgy a látszólagos fényesség felhasználásával kiszámíthatjuk a csillag távolságát is.

A csillagok távolságának színeképükből való meghatározása a modern csillagászat egyik legnagyobb vívmánya. Ennek a módszernek különös jelentőséget ad az a körülmény, hogy pontosságát a távolság mérete nem befolyásolja, szemben a trigonometriai módszerrel,



amelynél a távolság növekedésével az eredmény egyre bizonytalanabb lesz. Eddig több mint 2000 csillag távolságát sikerült színekéből meghatározni. A módszer megbízhatóságát fényesen igazolták az általa nyert eredményeknek a más módon kapottakkal való összehasonlítása.

Azonban mindennek megvannak a maga előnyei és a maga hátrányai. A most ismertetett módszer kihasználásának az szab határt, hogy nem minden színképtípusnál alkalmazható egyforma sikerrel, továbbá, hogy a nagyon halvány csillagoknál nem vezet célhoz. Ez utóbbiak gyenge fénye ugyanis nem szélesíthető ki színeképpé. Van azonban olyan módszer, mely bizonyos esetekben lehetségessé teszi, hogy a csillagok abszolút fényességét (s ezzel természetesen a távolságát) a színkép ismerete nélkül pusztán a csillag fényességéből, helyesebben mondva fényességváltozásából állapíthassuk meg. S ennek a módszernek a jelentősége legkevésbé sincs az előbbi mögött, mert éppen a nagyon halvány, tehát rendesen nagyon távoli objektumok távolságának a meghatározását teszi lehetővé. Már eddig is oly jelentős eredményekkel dicsekedhet, melyekről két évtizeddel ezelőtt álmodni se mertünk.

A most ismertetendő módszer, mint említettük, a csillagok fényességének a változásán alapszik. Már régóta ismert, hogy egyes csillagok nem ragyognak állandó fényben, hanem időnként hol csökken, hol növekszik a fényességük. Az ilyen csillagokat *változóknak* nevezzük. Számuk ma már több, mint ötezerre rúg. Nincs kizárva, hogy többé-kevésbé minden csillag változó, ez azonban mérőműszereink mai fejlettsége mellett sem mutatható ki mindegyikéről. A legnagyobb valószínűség szerint a mi Napunk sugárzása sem állandó. A változó csillagok két főcsoportja különböztethető meg. Az egyikbe azok tartoznak, melyeknek fényváltozása szabálytalanul megy végbe, a másikba az úgynevezett periódusos változók, melyeknél a fényváltozást oly szabályszerűség jellemzi, hogy ezeknél a

csillagok fényességét bármilyen időre előre nagy pontossággal tudjuk megadni. A fényváltozás két jellemző adata: a fényingadozás, vagyis a változás közben előálló legnagyobb és legkisebb fényesség közötti különbség magnitúdóban kifejezve, továbbá a periódus, vagyis az az időtartam, melynek elmúlása után a fényváltozás tüneténye megismétlődik. Az előbbi több magnitúdóra rúghat, az utóbbi pedig néhány óra és több év között ingadozhat.

Minket most a periódusos változók érdekelnek. Ezek között vannak olyanok, melyeknél a fényváltozás oka igen egyszerű. Ezek az úgynevezett *fogyatkozási változók*, melyeknél a fényváltozás hasonló a napfogyatkozás tünetényeihez. Ezeknél nem egy olyan égitesttel van dolgunk, mint a Napunk, hanem két (esetleg több) ilyen csillaggal, melyek közös súlypontjuk körül keringenek. A nagy távolság miatt azonban a legnagyobb távcsőben is csak egynek látjuk őket. Ha azonban a keringéssíkjuk ép a látvonalba esik, akkor időnként egy vonalba esve, elfedik egymást s fénycsökkenés áll elő. Ez árulja el, hogy kettős csillaggal van dolgunk. A fényváltozás tehát tulajdonképpen csak látszólagos. Vannak azonban csillagok, melyeknek fényessége tényleg megváltozik, anélkül azonban, hogy ennek szabatos magyarázatát máig is sikerült volna megadni. Különösen nagy fontosságúak a csillagok közül az úgynevezett *cepheidák*. Elnevezésüket a legfényesebb ilyen csillagtól, a Cepheus csillagkép  $\delta$ -jától kapták. A változás itt is nagy szabályossággal ismétlődik s főjellegzetessége, hogy a csillag elérve a legnagyobb fényességet, a maximumot, fényessége lassan fogyni kezd, a minimum beállta után azonban a fényesség rohamosan növekszik és a maximum elérése után a játék ismétlődik. Egyszóval a fénynövekedés sokkal gyorsabb lefolyású, mint a csökkenése.

Lássuk azonban most azt, hogy értékesíthetjük a csillagok fényváltozását távolságuknak a meghatározására. Ha összeszedjük azokat a cepheidákat, melyek-

nek a távolságát ismerjük, akkor ismét van egy csoport ismert abszolút fényességű csillagunk, hiszen mint látuk, a távolságból és a látszólagos fényességből az abszolút fényesség is kiszámítható. Mivel a fényesség ezeknél a csillagoknál változó, a következő meggondolásunknál a középfényességet vesszük tekintetbe. Ha most ezeket a változókat periódusuk hossza szerint rendezzük, azt a meglepő tényt tapasztaljuk, hogy a periódus hossza és az abszolút fényesség között szembeötlő összefüggés van, úgy hogy az egyiknek az ismerete lehetővé teszi a másiknak a meghatározását. Egyszóval a cepheidák távolságát periódusokból megállapíthatjuk. Mivel ezek a csillagok általában mind nagyon messze vannak, eddig még csak kevésnek sikerült a távolságát közvetlenül, trigonometriai módszerrel megállapítani. A fenti tapasztalati összefüggés tehát még csak kevés adaton nyugszik s a módszer ezért jelenleg még nem rendelkezik az óhajtott pontossággal. Mégis óriási jelentőségű, mert — mint később látni fogjuk — olyan esetekben nyújt lehetőséget távolságok meghatározására, amikor minden más módszer tehetetlen.

Az égitestek távolságára bizonyos következtetést vonhatunk mozgásukból is. A csillagok ugyanis, így a Napunk is, nem mozdulatlanok a térben, hanem egyesek tetemes sebességgel száguldanak. Ez a mozgás azt idézi elő, hogy a csillagoknak egymáshoz viszonyított helyzete is megváltozik az égbolton, bár ez az elmozdulás a nagy távolság miatt természetesen nagyon kicsi. Arra gondolhatnánk, hogy a hozzánk közelebb eső csillagoktól inkább várhatunk nagyobb elmozdulást, mint a távolabb levőktől, azonban nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a csillagok mozgássebessége nem egyforma és hogy ha a mozgás ép a látóvonalba esik, az esetleges nagy sebesség dacára is semmi elmozdulást sem fogunk látni. Mégis a nagy látszólagos elmozdulás igen jó ismertetőjele annak, hogy itt közeli csillaggal van dolgunk. Azért szokták elsősorban ép az ilyen csillagok távolságának a megha-



tározását megkísérelni, mert ezeknél kecsegtet a remény a legnagyobb sikerrel. Az elmozdulás, mint már említettük, a legkedvezőbb esetben sem valami feltűnő. Jelenlegi ismereteink szerint a legnagyobb, úgynevezett saját mozgással<sup>1</sup> bíró csillag is mindössze 10."25-nyi elmozdulást tesz az égen évenként. Ennek nagyságáról, illetve kicsinységéről fogalmat alkothatunk magunknak, ha meggondoljuk, hogy ez csak 184 év múlva tesz ki akkora elmozdulást, amekkora a holdkorong átmérője. A legtöbb csillag elmozdulása azonban sokkal kisebb és csak a leggondosabb és évek múlva megismételt méréssel mutatható ki. Sokáig mozdulatlanoknak is gondolták a csillagokat s innen ered a helyüket gyorsan változtató bolygókkal szemben az olykor még most is használt állócsillag elnevezés. Csakugyan évezredek fognak eltelni, míg az égbolt csillagképei szemmel észrevehető változást fognak szenvedni.

A csillagászat egyik legszebb vívmánya, hogy a csillagoknak nemcsak a látszólagos elmozdulását tudja megállapítani, hanem hogy a mozgásnak a látóvonal iránvába eső nagyságát is meg tudja határozni. A csillagoknak ezen, úgynevezett *radiális sebességét* a színképükből állapítjuk meg. Ha ugyanis valamely csillag színképét egy földi fényforrásnak ugyanazon prizmával egyidejűleg előállított színképével összehasonlítjuk, akkor azt a tapasztalatot tehetjük, hogy bár a két színképben az egyazon anyagoktól származó színképvonalak egyforma elrendeződést mutatnak, mégis a legtöbb esetben a csillag színképvonalai a földiekhez képest a színkép vörös vagy az ibolya oldala felé kissé eltolódnak. Ez, a Doppler-féle elv értelmében, annak a következménye, hogy az illető csillag tőlünk távolodik, illetve hozzánk

---

<sup>1</sup> Saját mozgáson az évenkénti látszólagos elmozdulást értjük. A szóban forgó csillag saját mozgása tehát 10."25.

közeledik. A mozgás irányának egy tekintettel való megállapításán kívül a színeképvonalak eltolódásának a megméréseivel meghatározhatjuk a sebességnek a nagyságát is, mellyel ez a mozgás történik. Ma már több ezer csillag radiális sebességét ismerjük.

Minden csillag mozgása két összetevőre bontható fel. Az egyik az, mely a látóvonalba esik s amelynek mértékét a radiális sebesség adja meg. A másik a látóvonalra merőleges, a már ismertett saját mozgás, vagyis a csillagnak látszólagos elmozdulása az égbolton. Ez utóbbinak a tényleges nagyságát csak akkor állapíthatjuk meg, ha a csillag távolságát is ismerjük. Ha azonban úgy ezt, mint a radiális sebességet meghatároztuk, úgy a csillag mozgását a térben tökéletesen ismerjük. Bizonyos esetekben — s minket különösen ez érdekel — fordítva, a csillag saját mozgásának és radiális sebességének ismeretéből a távolságot határozhatjuk meg. Ez azonban csak akkor sikerül, ha egyidejűleg több egyforma sajátmozgással és radiális sebességgel bíró csillaggal van dolgunk. Olyanokkal tehát, melyek egymással párhuzamosan haladnak a térben. Ilyen esettel állunk szemben, ha a csillagoknak egy összetartozó csoportját, halmazát tesszük vizsgálat tárgyává.

Ha az égen két egymás mellett lévő csillagot látunk, ez általában még nem az összetartozandóságnak a jele s lehetséges, hogy ezek a csillagok nagyon messze esnek egymástól. A két csillag közel eshet ugyanabba az irányba, anélkül, hogy valami közük volna egymáshoz. Vannak azonban az égen helyek, ahol a csillagok a közvetlen környezettől feltűnően elütő nagy számban fordulnak elő, úgy hogy már felületes szemléletre sem látszik valószínűnek, hogy az összesűrűsödés csak véletlen volna. S tényleg, ezeknek az úgynevezett csillaghalmazoknak a csillagjai között kétségtelen összetartozás van. Közülök néhány feltűnőbb szabadszemmel is észrevehető s már ősidők óta ismeretes. Ki ne ismerné a Fiastyúkot? Szép, derült éjjelen távcső nélkül is kivehetjük hét fényes csillagját, optikai műszeren

nézve keresztül pedig meglepő látvány tárul szemeink elé. Szabadszeggel láthatók még a Hyadok, a Berenice haja és a Praesepe csillaghalmazok is.

Mióta az észlelések távcsővel folynak, a csillaghalmazok száma nagyon megnövekedett. S egyúttal kiderült, hogy a halmazok külsejük alapján igen jól foglalkozhatók össze két csoportba. S ez a beosztás igen hasznosnak bizonyult, mivel a két csoport közötti különbség nemcsak külsőségben nyilvánul meg. E csoportosítás szerint nyílt és gömbcsillaghalmazokat szokás megkülönböztetni. Az előbbieket néhány száz vagy legföljebb néhány ezer megfelelő nagysággal egymástól meglehetősen könnyen szétválasztható csillagból állanak. A gömbhalmazokban, mint azt már a név is elárulja, gömbszerű csomóban tömörülnek össze a csillagok; nagyon halványak, számuk több ezerre rúg s a halmaz közepén oly sűrűn helyezkednek el, hogy legnagyobb távcsővel sem bonthatók széjjel. Ezekkel a halmazokkal majd a következő fejezetben fogunk behatóbban foglalkozni. E helyen csak a nyílthalmazokról lesz szó. Eddig körülbelül kétszáz ilyenről van tudomásunk. Minden szabadszeggel észrevehető halmaz ebbe a típusba tartozik.

A különböző nyílthalmazban a csillagok száma igen változó. Némelyikben több ezer a csillag, mint például a Perseus-halmazban, némelyikben meg olyan kevés, hogy a csillagok sűrűsége alig tér el attól, mely az égbolt ugyanazon táján uralkodik. S ebben az esetben természetesen annak a megállapítása is nehézséggel jár, hogy a halmaz irányába eső csillagok közül melyek tartoznak a halmazba s melyek nem. Ugyancsak nagy eltérés van a sűrűsödés fokára nézve is. Néha ezek a különben összetartozó csillagok annyira szétvannak szórva, hogy külsőre semmi sem emlékeztet halmazra s az összetartozás voltát csak a csillagok más tulajdonsága árulja el. Így például a Göncölszekér egymástól messzefekvő csillagjairól ki gondolná, hogy azok halmazt alkotnak? Megegyező mozgásuk azonban



kétségtelenné tette, hogy itt egy rendszer összetartozó tagjaival van dolgunk. Valószínű, hogy még nagyon sok ilyen teljesen szétszórt nyílthalmaz létezik, melyekről eddig még nincs tudomásunk.

Az ég ama részében, melyben egy-egy halmaz van, természetesen lesznek csillagok, melyek nem tartoznak a halmazhoz, hanem vagy előtte vagy mögötte vannak és semmi összefüggésben sincsenek vele. Természetesen a halmaz tanulmányozásánál ezeket ki kell kapcsolni, ami azonban nem mindig könnyű feladat. Semmi különösebb nehézséggel sem jár azonban ez akkor, ha az ég szóban forgó részében a csillagok sajátmozgását vagy radiális sebességét ismerjük. Mivel a halmazcsillagok mind együttmozognak, a kívülállóknak sajátmozgásukkal vagy radiális sebességükkel kiütnek s erről könnyen felfedezhetők. Például a fényes Aldebaran csillag, bár látszólag majdnem a Hyadok közepén van, a halmaz csillagjaitól teljesen elütő mozgású s nem is tartozik a csoportba, hanem annál sokkal közelebb van hozzánk.

Mindebből nyilvánvaló, mily nagy fontosságú a csillagok mozgásának ismerete. Sok esetben ez még azt is lehetővé teszi, hogy a halmaz csillagjainak a távolságát meghatározhassuk. Boss jött rá először, hogy ha a Hyadok csillagjainak látszólagos elmozdulását meghosszabbítjuk, ezek az irányok nem teljesen párhuzamosak, hanem kellőleg meghosszabbítva egy pontban metszik egymást. Ugy tűnik fel, mintha ezek a csillagok egy pont felé futnának, ahogy például a fákat látjuk összefutni, ha autón haladunk gyorsan az erdőben és hátranézünk. Ebből arra következtethetünk, hogy a Hyadok távolodnak tőlünk, amit a radiális sebességmérések igazolnak is. Ha ellenben egy halmaz közeledik hozzánk, akkor meg ellenkezőleg úgy tűnik fel, mintha egy pontból indultak volna ki (előre nézve az autóból: a fák széjjelfutnak). Ha egy halmaz konvergálopontja ismeretes s ismerjük néhány csillagjának mozgását (sajátmozgását és radiális sebességét) is, úgy

nagyon egyszerű matematikai eljárással kiszámítható ezeknek a csillagoknak a távolsága is. A Hyadoknak körülbelül 80 csillagját ismerjük. Ezekről a fenti módon megállapítást nyert, hogy olyan halmazt alkotnak, melynek centruma 135 fényévre van tőlünk. A csillagok legtöbbje 15 fényévnyi távolságon belül helyezkedik el a halmaz centruma körül. A Nagy Göncölszeker halmaza e csillagkép  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$  és  $\zeta$  csillagjait mind magában foglalja. Ezek körülbelül 60—70 fényévre vannak tőlünk.

A nagyon távoli halmazoknál a látszólagos elmozdulás iránya majdnem párhuzamos s ezért ezeknél a konvergáló pont meghatározása nagyon bizonytalan. Ilyen esetben más módszer után kell nézni, hogy a távolságot megállapíthassuk. Olykor a már ismertetett színeképi eljárás vezet célhoz. Az ugyanis lehetővé teszi az abszolút fényesség s így a távolság meghatározását is. Halmazcsillagoknál az abszolút fényesség megállapításának van még egy más módja is, mely szintén megbízhatónak látszik. Ez a módszer is a színeképen alapszik s abból a feltevésből indul ki, hogy a halmazban lévő egyazon színeképű csillagok abszolút magnitúdója középben ugyanakkora, mint más, ismert abszolút magnitúdójú s ismert színeképű csillagoké. Ezzel a módszerrel eddig több mint ötven nyílt halmaz távolságát határozták meg. Némelyike több ezer fényévre van tőlünk.

A halmazokban több egymással összetartozó csillaggal van dolgunk, melyek azonban mindamellett egymástól igen nagy távolságban vannak. Nagyon gyakori eset azonban, hogy két vagy három, esetleg több csillag is oly közel van egymáshoz, hogy szabadszemmel egynek látszanak s csak erős távcsővel bonthatók fel komponenseikre. Ezek az úgynevezett *kettős és többszörös csillagok*, melyek az ég minden részén nagy számmal találhatók. Van eset, mikor ezek a legnagyobb nagyítás mellett sem bonthatók fel, amint azt a fogyatkozási változóknál láttuk, melyek szintén kettős csilla-

gok. Ebben az esetben a csillag fényváltozása árulja el, hogy nem egyszerű csillaggal van dolgunk. Vagy kétszáz ilyenről van tudomásunk, a távcsővel felbontható kettős csillagok száma ellenben ma már 20.000-re rúg. Eltekintve a ritkább esetektől, mikor a kettős csillag komponensei csak látszólag tartoznak össze, vagyis csak ugyanabba a látvonalba esnek, de egymástól esetleg óriási messze vannak, a legtöbb esetben az ilyen egymás mellett lévő csillagok között szoros kapcsolat van. Egymás körül, jobban mondva közös súlypontjuk körül keringenek s hosszabb megfigyeléssel keringésidőjük, egyéb pályaelemeik, sőt tömegük is kiszámítható. A keringésidő olykor több mint ezer évre is rúghat, úgy hogy ilyen esetekben ezeket a csillagokat pályájuknak még csak igen rövid szakaszán lehetett megfigyelni.

Ha vizsgálat alá vesszük azokat a kettőscsillagokat, melyeknek tőlünk való távolságát valami módon már sikerült meghatározni, melyeknek tehát így abszolút magnitúdóját is ismerjük s melyeknek tömegét is kiszámították már pályafutásuknak a megfigyeléséből, szoros összefüggést állapíthatunk meg a tömeg és az abszolút fényesség között, úgy, hogy az egyiknek az ismeretével a másikat megállapíthatjuk. Szóval ismét egy módszerhez jutottunk, mellyel a csillagok távolságát meghatározhatjuk. Az eljárás menete a következő: észlelésből megkapjuk a pályaelemeket, ezek ismeretével kiszámítjuk a tömeget, ez a most ismerttetett összefüggés alapján megadja az abszolút fényességet s ez a távolság megállapítását már lehetővé teszi.

Láttuk, hogy a távcsővel fel nem bontható kettőscsillagokról is tudunk olykor tudomást szerezni fényváltozásuk révén. Néha meg a színek sajátos viselkedése árulja el ugyanazt. Ha az illető kettőscsillag mindkét komponense elég fényes, úgy színeképükben az egyes elemek vonalai megkettőzve lépnek fel, jelölül annak, hogy a két csillag radiális sebessége nem egyforma. Ez a keringésüknek a következménye. Ez okoz-



za, hogy a két csillag színkép vonalainak kölcsönös helyzete változik. Néha az egyik komponens olyan fénygyenge, hogy csak a fényesebb másíkról lehet színképet kapni. Ebben az esetben a színkép vonalak nem kettőztek ugyan, de azért állandó ide-oda ingadozást mutatnak, jelezve a radiális sebesség változását s elárulva ezzel a keringést. Ma már több ezer ilyen úgynevezett színképi kettőscsillagot ismerünk. A színkép vonalak ingadozásának a követése sok esetben a kettőscsillag pályaelemeinek a kiszámítását is lehetővé teszi, sőt olykor a távolság is meghatározható. Hasonló siker koronázza néha a fogyatkozási változók fényváltozásának a tanulmányozását is. Ezeknek a módszereknek a részletezésébe azonban itt nem bocsátkozhatunk.

Számos módszert ismertettünk eddig, melyek a csillagtávolságok meghatározására szolgálnak. Eközben azonban folyton ki kellett térnünk s bizonyos fogalmakat kellett bevezetnünk, mert ezek ismerete nélkül nem tudtunk volna boldogulni. Eközben az égitestek számos fizikai tulajdonságával ismerkedtünk meg, aminek elkerülése nem is volt szándékunk. Így beszéltünk a csillagok látszólagos és abszolút fényességéről, színképéről, sajátmozgásáról és radiális sebességéről, a változó, a kettőscsillagokról és a csillaghalmazokról. Annak a nagy csillagrendszernek a szerkezetével és méreteivel akarunk megismerkedni, melynek ezek az égi testek és a Napunk is a tagjai s amely a mi szűkebb értelemben vett világunknak tekinthető. A róla alkotott kép nem lenne tökéletes, ha tagjairól külön-külön is nemoznánk s nem hoznók vonatkozásba az általunk legjobban ismert csillaggal, a Nappal.

A csillagok fő fizikai tulajdonságai: a nagyság, a tömeg, az abszolút fényesség és a hőmérséklet. Az abszolút fényességről már többször szözlöttünk. Meghatározására számos módszer áll rendelkezésünkre. Legalapvetőbb az, mikor a csillag látszólagos fényességéből és trigonometriai úton nyert távolságából vezetjük azt le. Eddigi ismereteink szerint a legnagyobb abszolút fé-

nyességgel bíró csillag a Rigel ( $\beta$  Orionis). Abszolút fényessége:  $-5.5$ . Ne menjünk el gyorsan emellett a szám mellett. Mert vajjon ez mit jelent? Nem mást, mint hogy a Rigel 14.000-szer fényesebb, mint a Napunk! A leggyengébb fényerejű csillag pedig az, melyet Innes fedezett fel; látszólagos fényessége 11 magnitudo, tehát csak távcsővel látható, abszolút fényessége pedig  $+15$ . Ennél a csillagnál meg a Napunk fényesebb körülbelül 11.000-szer. A csillagok tényleges fényessége között tehát óriási különbségek fordulnak elő. A nagyon fényes csillagokat óriásoknak, a nagyon halványakat törpéknek is szokás nevezni,<sup>1</sup> ami igen találó, mert rendszeren az illető csillag nagyságára is ráillik. Az előbb említett Rigel óriáscsillag átmérője nagyobb, mint a Föld keringéspályájáé, az  $\alpha$  Scorpii meg még a Mars-pályán is túlterjedne. Ezzel szemben a három legkisebb törpecsillag, melyet ismerünk, az Uranusnál is kisebb, sőt az egyiket még a Földünk is felülmúlja nagyságával.

A kettőscsillagoknál szólottunk róla, mily szoros összefüggés van a csillagok tömege és abszolút fényessége között. Beható tanulmányok kimutatták, hogy a csillag abszolút fényessége jóformán kizárólag a tömegtől függ. Míg azonban a fényerőre a csillagoknál oly óriási eltéréseket találunk, a tömegre nézve korántsem találunk akkora ingadozásokat. Nem ismerünk csillagot, amelynek tömege százszor múltna fölül a Napét, vagy százszor kisebb volna annál. A nagy eltéréseket a fényerőben a sugárzó felületnek a nagy változatossága, a nagyon különböző térfogat okozza. Látuk feliebb a nagy nagyságkülönbségeket az óriás- és a törpecsillagok között. Mivel a nagy térfogatkülönbségekkel nem jár hasonló nagy ingadozás a tömegben, természetesen a sűrűségben is óriási, szinte hihetetlen ingadozást tapasztalunk. Az Antares óriáscsillag közepsűrűsége 3.000-szer kisebb, mint a levegőé, a Sirius

<sup>1</sup> Ez az elnevezés nem a látszólagos, hanem a tényleges, az abszolút fényességre vonatkozik.

törpe kisérőcsillagjáé pedig 27.000-szer nagyobb, mint a vízé, vagyis több, mint ezerszer nagyobb, mint a platináé!

A csillagok egyik igen fontos fizikai tulajdonságának, a hőmérsékletnek a meghatározására számos megbízható módszereink vannak. A legmagasabb előforduló hőmérséklet több, mint  $20.000^{\circ}$ , a legalacsonyabb ennek körülbelül a tizedrésze. Természetesen ez a hőmérséklet csak a csillagok felületére vonatkozik. A hőmérséklet és a színekép között oly szoros kapcsolat van, hogy az egyikkel a másik szinte helyettesíthető. A 33. oldalon felsorolt színeképtípusok a hőmérséklet fogyásának sorrendjében következnek egymás után.

A csillagok hőmérséklete (vagy úgylis mondhatjuk: színeképe) és az abszolút fényessége között szintén van összefüggés, bár ez már nem olyan egyszerű. Általában a törpecsillagok a legalacsonyabb hőmérsékletűek s ebben nem is térnek nagyon el egymástól. Az óriások között úgy alacsony, mint magas hőmérsékletű csillagokat találunk, vagyis itten mindenfajta színeképtípus előfordulhat. Az átmenet a kettő között természetesen fokozatosan történik. Amint egyre kisebb és kisebb abszolút fényességű csillagokat vonunk vizsgálatunk körébe, egyre kisebb hőmérsékleti eltéréseket találunk a csillagok között s a hőmérsékletnek az elérhető legmagasabb foka egyre alacsonyabb.

Mióta a Napot elhagytuk, az összes égitestek, melyekkel eddig találkoztunk, olyan távol vannak tőlünk, hogy a legnagyobb nagyítású távcsőben is csak pontszerűnek látszanak. Vannak azonban az égen objektumok, melyek távcsövön át nézve, mint ködszerű kis foltok, bolygókhoz hasonló koronggá szélesednek. Innen ered a nevük is. *Bolygószerű ködfoltoknak* hívják őket. A korong közepén rendszeren halovány csillag van. Mindössze vagy 150 bolygószerű ködfoltot ismerünk. Látszólagos nagyságuk után ítélve vagy közel kell hoznunk lenniök, vagy pedig ha ellenkezőleg nagyon távol



vannak, nagyon nagyoknak kell lenniök, hogy az óriási távolság dacára korongszerűnek látszanak. A rajtuk végzett radiális sebességmérésekből kiderült, hogy általában sokkal nagyobb sebességgel mozognak a térben, mint a többi csillagok. Mivel dacára ennek, látszólagos elmozdulásuk (saját mozgásuk) rendkívül kicsi, ez azt mutatja, hogy igen nagy távolságban kell lenniök. A sikerrel járt mérések is több száz fényévnnyi eredményt adnak. Távolságuk ismeretével és látszólagos nagyságuk megméréseivel tényleges nagyságuk is kiszámítható. Az erre vonatkozó vizsgálatok azt az eredményt adták, hogy nagyságuk olykor százszor is fölülmúlja az egész Naprendszer nagyságát. A ködfolt korongjának szélein végzett radiális sebességvizsgálatok alapján kiderült, hogy a ködfoltok tengelyforgást végeznek. Ennek ideje általában több ezer évre rúg. A forgásból az egész objektum tömegére is lehet következtetni, s ebből a ködfolt sűrűsége is kiszámítható. Az így nyert tömegek olyan nagyságrendűek, mint az eddig talált legnagyobb óriáscsillagoké, a sűrűség azonban a térfogatnak megfelelően még az amazoknál talált sűrűségnél is jóval kisebb. Hasonlattanálva: 4 köbcentiméter levegőt 1 köbkilométerre kellene szétterjeszteni, hogy hasonló sűrűséget állítsunk elő.

Még a bolygószerű ködfoltoknál is sokkal nagyobbak az úgynevezett diffúzködök. Ide tartozik a jól ismert Orion-köd is, mely szabadszemmel is kivehető. A diffúzködök alakja többnyire nagyon szabálytalan. Az ugyanabba a látóvonalba eső csillagok közül egyesek valóban benn vannak a ködben és sok körülmény utal arra, hogy a ködök fénye a bennük lévő csillagoktól nyert megvilágítástól ered. Ha e csillagok távolságát sikerül meghatározni, ezzel egyúttal a köd távolságára és tényleges kiterjedésére is nyerhetünk felvilágosítást. Mindkettő olykor igen nagy. Például az Orion-köd körülbelül 600 fényévre van tőlünk s átmérője is legalább 10 fényév. Tömegét a Nap 10.000-szeresére becsülik, sűrűsége azonban a levegő milliószozmillió-

szorosánál is kisebb. Dacára ennek a rendkívül alacsony sűrűségnek, a diffúzködök számos szilárd részecskét is tartalmazhatnak. Nagy porfelhők lehetnek ezek, melyekben azonban az egyes részecskék igen messzire vannak egymástól. Kétségtelen ilyen porszerű szerkezetük van a sötétködöknek, melyek főképp a Tejútban észlelhetők s azt idézik elő, hogy helyükön sokkal kevesebb csillag látható, mint a környezetben. Az ilyen porszerűen eloszlott anyagnak ugyanis rendkívül nagy fényelnyelőképessége van, a nagyon alacsony sűrűség dacára. Kiterjedésük számos fényévre terjedhet s ha megfelelő vastagságúak, a mögöttük levő csillagokat mind eltakarhatják.

Tárgyalásunk során igen sokfajta égitesttel ismerkedtünk meg. Tapasztalhattuk, mily nagy változatosság uralkodik úgy fizikai tulajdonságaikban, mint a tőlünk való távolságukban. Dacára ennek, valamennyien ugyanannak a közös rendszernek, az úgynevezett galaktikai vagy másnéven Tejútrendszernek a tagjai. Hogy e világ szerkezetéről és méreteiről teljesen tökéletes képünk legyen, valamennyi bennelevő égitest távolságának az ismeretére volna szükségünk. Bár a csillagtávolságok meghatározásában az újabb időben nagyon öröndetes fejlődés tapasztalható, a jelenleg rendelkezésre álló csillagtávolságok mégis főképp a Nap környezetében levő viszonyokra vetnek fényt, de nem nyújtanak teljes képet az egész nagy rendszernek a szerkezetéről. Ezenkívül a csillagok óriási száma folytán nincs rá remény, hogy valamennyinek a távolságát — még ha ez minden esetben sikerülne is — külön-külön mind meghatározzuk. Az emberi találékony-ság azonban mégis megelégte a módját, hogy ennek ellenére világrendszerünk szerkezetébe betekintést s felépítéséről meglehetősen tiszta képet nyerjünk.

Ha derült éjjelen feltekintünk az égboltra, semmi különösebb szabályszerűséget sem veszünk észre a csillagok eloszlásában. Azt azonban felületes szemléletre is megállapíthatjuk, hogy az égnek van egy része, ahol a

csillagok különösen sűrűn vannak. Nevezetesen a Tejútban, mely mint keskeny sáv az egész égboltot övszerűen körülburkolja. Már ez sejtetheti velünk, hogy itt valami szabályszerűségnek mégis csak kell lenni s ezt a tüzetesebb vizsgálatok meg is erősítik. Ha távcsővel sietünk a szem segítségére, akkor ezzel kutatási anyagunk rendkívül megnövekedik. S minél nagyobb s tökéletesebb műszer áll rendelkezésünkre, annál nyilvánvalóbbá válik a csillagok elhelyezkedésében megnyilvánuló szabályszerűség. Egyre halványabb és halványabb csillagokat vonva be kutatásunk körébe, anyagunk annyira felhalmozódik, hogy annak feldolgozására egy különleges, úgynevezett statisztikai módszer látszik a legcélszerűbbnek.

A most ismertetendő vizsgálatoknál a csillagoknak főképp két adata jön számításba. S ezek egyúttal a legkönnyebben megállapíthatók. Az egyik adat az az irány, amelyben a csillag az égen feltalálható, a másik pedig a csillag látszólagos fényessége. Az utóbbi helyett persze inkább a távolságra volna szükségünk, de sajnos, annak meghatározása csak kivételes esetben sikerül.

A szabadszemmel látható csillagok száma mindössze néhány ezer. Sokkal kevesebb, semhogy elegendőnek bizonyulna ahhoz a statisztikai eljáráshoz, melyet most ismertetni fogunk. Tábori távcső már körülbelül 50.000-re emeli az észlelhető csillagok számát. Egy háromhüvelykes távcső pedig több százezerre. Ha még nagyobb távcső áll rendelkezésünkre s a szemet fényérzékeny fotografiai lemezzel pótoljuk, mely a csillagok képét megrögzíti, úgyhogy a megfigyelési anyagot azután laboratóriumban sokkal nyugodtabban s kényelmesebben vehetjük vizsgálat alá, meglepő eredményre jutunk. Egy modern csillagvizsgáló nagy távcsővével annyi csillagot lehet lefényképezni, hogy azok megszámlálására egy emberöltő sem volna elégséges.

Már beszéltünk róla, hogy a csillagokat látszólagos fényességük alapján hogyan szokás nagyságrenddel jelölni. Említettük, hogy az elsőrendű csillagok száz-



szor fényesebbek, mint a hatodrendűek. Szabadszemmel az utóbbiak még épen észrevehetők. Tízcentiméteres átmérőjű távcsővel a 11. rendű csillagokat is észlelhetjük, vagyis azokat, melyek százszor halványabbak a hatodrendűeknél. Egyméteres távcsővel körülbelül a 17. magnitudoig mehetünk. Ha a szemmel való észlelés helyett a távcsőre fényképezőkamarát szerelünk fel, úgy megfelelően hosszú expozícióval a határt még jobban kitölthetjük. A világ jelenlegi legnagyobb távcsőve a kaliforniai Wilson-hegyen levő csillagda 250 cm. átmérőjű reflektora. Ezzel még a 21. rendű csillagokat is le lehet fényképezni.

Minél gyengébb fényű csillagokat akarunk kutatásaink körébe vonni, annál nagyobb távcsőre van tehát szükségünk. A távcső növelésével azonban egyre jobban csökken a látmező nagysága, vagyis egy felvétellel az égnek egyre kisebb részét tudjuk csak lefényképezni. Évekre volna szükségünk, hogy ilyen nagy műszerrel az egész eget lefényképezzük s mint már említettük, a csillagok megszámlálására a lemezeken egy emberöltő sem volna elégséges.

Herschel, aki elsőnek végzett ilyen statisztikai vizsgálatokat az égen, bizonyos számú, az égen egyenletesen elosztott területet választott ki s az azokban végzett számlálásokból következtetett a csillagok összsámára. Az ő eljárása természetesen még nem volt fotográfiai. Egy-egy terület nagyságául távcsövének a látmezejét választotta.

Újabb időben Kapteyn, egyike a legnagyobb csillagászoknak, 206 egyenletesen elosztott részt jelölt meg az égbolton s azt indítványozta, hogy legalább minden ilyen részben lévő csillagokat vessék alá a lehető legbehatóbb vizsgálatnak, miután ez az ég összes csillagjára beláthatatlan ideig úgy sem hajtható végre. Számos csillagda vesz részt ennek a nagyhorderejű programnak a keresztülvitelében, mely program a csillagok fényességén kívül azok egyéb tulajdonságai (színkép, radiális sebesség, stb.) meghatározá-

sát is magába foglalja. Bennünket most csak a fényesség, illetve az érdekel, hogy mennyi a száma a különböző fényességű csillagoknak. Ilyen vizsgálatokat legbehatóbban Seares és társai végeztek a Wilson-hegyi csillagvizsgálóban. A Kapteyn-féle kiválasztott részekben végzett csillagszámlálásokból megállapították, hogy bizonyos magnitudoig az égbolt egy négyzetfoknyi területére<sup>1</sup> átlagban hány csillag esik. Így kapták, hogy például a 12. rendnél fényesebb csillagokból egy négyzetfoknyi területre átlagban 27 csillag jut. Mivel az egész égbolt 41.253 négyzetfoknyi területű, az összes 12. rendnél fényesebb csillagok száma tehát kerekén 1,100.000. Ezzel szemben a 6. rendnél fényesebb, vagyis a szabadszemmel látható csillagok száma kerekén csak 3.000. A 15. rendnél fényesebb csillagok száma, mint az 51. oldalon levő táblázatból kivehetjük, már 15,000.000, miután eddig a nagyságrendig egy négyzetfoknyi területre kerekén 360 csillag jut.

Seares és társai 18.5 magnitudoig végeztek tényleges számlálásokat s interpolációval a 21. rendig számították ki a csillagok számát. Mindent egybevetve a mellékelt táblázatban feltüntetett értékek 2 millió tényleges adatra támaszkodnak. A 21. magnitudo, mint már említettük, a jelenlegi megfigyelhetőség határát jelenti, mivel az ilyen halvány csillagok a világ legnagyobb műszereivel éppen hogy még észlelhetők. Seares szerint a 21. magnitudónál fényesebb csillagok száma 890.000 millió, vagyis kerekén 1 milliárd.

Csak egy tekintet a táblázatra, rögtön szembejön az a szoros kapcsolat, mely a csillagok magnitudoja és száma közt fennáll, úgyannyira, hogy ez a kapcsolat matematikai formulával is kifejezhető s a vele nyert értékek nagyon jól egyeznek a tényleges számolással kapott értékekkel. Ez a körülmény felbátorít

<sup>1</sup> Tájékoztás végett megjegyezzük, hogy 1 négyzetfoknyi terület körülbelül ötször akkora, mint amennyit a holdkorong takar el az égbolton.

Magnitúdóhatár	A csillagok száma 1 négyzetfok- nyi területen	Az összes csillagok száma
4. magnitúdóig	0.009	360
5. „	0.025	1,000
6. „	0.07	3,000
7. „	0.02	8,000
8. „	0.6	23,000
9. „	1.5	62,000
10. „	4.0	166,000
11. „	10.5	430,000
12. „	27	1,100,000
13. „	66	2,700,000
14. „	157	6,500,000
15. „	360	15,000,000
16. „	800	33,000,000
17. „	1,700	70,000,000
18. „	3,500	143,000,000
19. „	6,700	275,000,000
20. „	12,000	505,000,000
21. „	22,000	890,000,000
.	.	.
.	.	.
.	.	.
∞ „	73,000	30,000,000,000

hat arra, hogy a 21. nagyságrendnél is továbbmenjünk és a formula segítségével a jelenleg még a megfigyelhetőség határain kívül eső halvány csillagoknak (ha csak teoretikus) számát is megállapítsuk. Ha ily módon elmegyünk a lehető legnagyobb ( $\infty$ ) nagyságrendig, vagyis a végtelen halvány csillagokig, úgy ezzel az eljárással az összes csillag teoretikus számát is megállapíthatjuk. Ez nagy, de mégis csak véges szám. 30 milliárd. Ha egyelőre ez csak spekulatív értéknek tekinthető, durva becslésnek azonban elfogadható.

Tény, hogy óriási egy csillaghalmazzal van itt dolgunk. Ez a mi szűkebb értelemben vett világrendsze-



rünk. Kívülről nézve ez a halmaz, nagyjában lencsealakhoz hasonlítható. Mivel mi a halmazban benne vagyunk, a lencse fókijában, melyben a halmaz legmesszebb szétterjeszkedik, látjuk köröskörül a legtöbb csillagot. Ezek itt oly sűrűn esnek egymás mellé, hogy gyűrű képében — ez az ismeretes Tejút — vesznek körül bennünket. Minél jobban távolodunk a Tejút síkjától, annál inkább fogynak a csillagok s a Tejút úgynevezett pólusainak a környékén látjuk a legkevesebbet.

Miként a csillagok számának a megállapításánál, úgy érthető okból a csillagok eloszlásának a tanulmányozásánál sem használhatjuk fel az összes észlelhető csillagot. A probléma megoldását azonban megkönnyíti az a körülmény, hogy a csillagok nem rendszertelenül, hanem a Tejút két oldalán nagyjában szimmetrikusan oszlanak el és hogy sűrűségük fogyása a Tejút pólusai felé nem ugrásszerű, hanem fokozatos. Ezért elégséges, hogy az egész égbolt helyett itt is annak csak bizonyos számú, célszerűen kiválogatott területein végezzünk vizsgálatokat. Seares és társai egyszerű számlálással megállapították, hogy az égbolt különböző részein, nevezetesen a Tejútban s attól különböző távolságokban

Magnitúdóhatár	0°		90°		Általában		Galaktikai koncentráció
	szám	a növekedés aránya	szám	a növekedés aránya	szám	a növekedés aránya	
5. mg	0.05	8.0	0.01	7.9	0.03	8.0	3.4
7. „	0.36	7.8	0.10	7.0	0.20	7.6	3.5
9. „	2.80	7.4	0.72	6.0	1.51	6.9	3.9
11. „	20.8	7.0	4.3	5.0	10.5	6.3	4.8
13. „	146	6.2	21.4	4.1	66	5.5	6.8
15. „	910	5.3	87	3.3	362	4.7	10.4
17. „	4,780	4.3	288	2.7	1,710	3.9	16.6
19. „	20,750	3.7	770	2.2	6,670	3.2	27.0
21. „	73,600		1,670		21,600		44.2

(különböző galaktikai szélességben,  $0^{\circ}$ -tól  $90^{\circ}$ -ig) mennyi csillag esik egy négyzetfoknyi területre. Ezzel az eljárással tiszta képet nyerünk a csillagok látszólagos eloszlásáról. Az előző oldalon táblázatot közlünk, ahol azonban csak a két szélső, a  $0$  és a  $90^{\circ}$ -os galaktikai szélességre szorítkoztunk. Ez is elégséges, hogy a vizsgálatok eredményéről kielégítő áttekintést nyerjünk. A táblázatból láthatjuk, hogy ha például a 13. magnitúdónál fényesebb csillagokat vesszük figyelembe, úgy a Tejútban (a  $0^{\circ}$  galaktikai szélességben) egy négyzetfoknyi területre 146 csillag esik; ezzel szemben a pólusokban (a  $90^{\circ}$  galaktikai szélességekben) csak 21, vagyis körülbelül hétszer kevesebb. Amint a táblázat utolsó oszlopából kivehetjük, ez az arányszám, az úgynevezett galaktikai koncentráció, a magnitúdóval egyre nő. Ha a 21. magnitúdónál fényesebb csillagokat tekintjük, úgy ez a viszony már 44, mert ebben az esetben a  $90^{\circ}$  szélességben egy négyzetfoknyi területre eső 1.670 csillaggal szemben a  $0^{\circ}$  szélességben ugyanakkora területen 13.600 csillagot számlálhatunk.

Ezek a csillageloszlások megerősítik a Tejút-rendszer alakjára tett állításunkat. De még többet is mondanak és nemcsak arra vetnek fényt, hogy a csillagok látszólag hogy oszlanak el az égbolton, hanem a csillagok valóságos térbeli eloszlására nézve is sokkal többet árulnak el, mint ahogy azt első pillanatra gondolnók. A most közölt táblázat adataiból az is kideríthető, hogy a csillagok a térben nem oszlanak el egyenletesen, hanem hogy annál jobban szétszóródnak, minél jobban távolodunk a Naptól, vagyis minél inkább közeledünk az egész rendszer külső határai felé.

Mielőtt ezt kimutatnók, gondoljuk meg azt a körülményt, hogy az a változatosság, mely a csillagok látszólagos fényességében nyilvánul meg, két okból származik. Először onnan, hogy a csillagok tényleges (abszolút) fényerőssége különböző, másodszor, hogy különböző távolságban vannak tőlünk. Vegyünk egyelőre olyan csillagokat szemügyre, melyeknek az abszo-

lut fényessége egyforma, melyeknél tehát a látszólagos fényesség közti eltérés tisztán a távolság következménye. Mint ismeretes, a fényesség a távolság négyzetével fordítva arányos, vagyis, ha két egyforma abszolút fényességű csillag közül az egyik mégegyszer olyan távol van, akkor négyszer látszik halványabbnak. Vegyük a szóbanforgó, tehát egyforma abszolút fényességű csillagok közül azokat tekintetbe, melyeknek látszólagos fényessége is egyforma, példának kedvéért: 9 magnitudo. Akkor ezek, mivel egyforma fényeseknek látszanak, tőlünk ugyanabban a távolságban, egy gömb felületén helyezkednek el. Jelöljük e gömb sugarát  $R$ -rel. Vegyük most azokat a csillagokat szemügyre, melyek ugyan szintén ugyanolyan abszolút fényességűek, mint az előbbiek, de 2.51-szer vannak távolabb tőlünk. Akkor ezek  $2.51^2 = 6.30$ -szor fognak halványabbnak látszani. Ez a 31. oldalon elmondottak alapján éppen 2 magnitudónak felel meg. Vagyis ezeknek a csillagoknak a látszólagos fényessége nem 9, hanem 11 magnitudo lesz. Ezek a csillagok annak a gömbnek a felületén helyezkednek el, melynek sugara 2.51-szer nagyobb, mint az előbbié. Minden ezen a gömbön belül levő csillag 11 magnitudónál fényesebb. Mindazok a csillagok pedig, melyek az  $R$  sugarú gömbön belül vannak, fényesebbek 9 magnitudónál. Mivel a gömb térfogata a sugár köbével nő, a két gömb térfogata úgy aránylik egymáshoz, mint  $1 : (2.51)^3$ , vagyis  $1 : 15.86$ . Ha a csillagok eloszlása egyenletes volna, akkor a nagyobb gömbben 15.86-szor annyi csillagnak kellene lennie, mint a kisebbikben, vagyis a 11 magnitudónál fényesebb csillagok számának kereken 16-szor annyinak kellene lennie, mint a 9. magnitudónál fényesebbekének. Vagy ha csak a példa kedvéért használt 9 és 11 magnitudótól eltekintünk: ha a fényességet 2 magnitudóval kitoljuk, a csillagok számának meg kellene 16-szorozódnia.

Ennek a tételnek a levezetésénél csak bizonyos abszolút fényességű csillagokra szorítkoztunk. Ha



más, de újra egyforma abszolút fényességű csillagokat veszünk tekintetbe, akkor természetesen az  $R$  sugár értéke más lesz, de továbbra is igaz marad a fenti összefüggés a magnitudo és a csillagok száma között. Mind ebből az következik, hogy ha a csillagok egyformán volnának eloszolva a térben s a fényes és a halvány csillagok ugyanabban az arányban fordulnának elő mindenütt, a látszólagos fényességnek 2 magnitudoval való megnövelésével a csillagok számának meg kellene 16-szorozódnia.

Lássuk most azt, hogy van a valóságban. Az 52. oldalon közölt táblázat feltünteti azt is, hogy mekkora a csillagok növekedése, ha a magnitudót kettővel növeljük. Kivehetjük onnan, hogy a fényesebb csillagoknál a növekedés aránya körülbelül egyforma úgy a Tejútban, mint a pólusokon, de mindössze csak 8, (a 7. magnitudónál fényesebb csillagok száma nyolcszor annyi, mint az 5. magnitudónál fényesebbeké). A halványabb csillagoknál (21. magnitudo) a növekedés aránya még kisebb; a Tejútban 3.7, a pólusokon meg éppen csak 2.2. Világos ebből, hogy a csillagok a térben nem oszolnak el egyenletesen. Nyilvánvaló, hogy a „tér-sűrűség” a távolsággal egyre csökken és pedig a pólusokon sokkal rohamosabban, mint a Tejútban. Ez a nagyon fontos eredmény, mely tisztán a csillagok számlálásából lett levezetve, anélkül, hogy az egyes csillagok távolságát ismernők, jó példáját adja annak, hogy a statisztikai módszer mily sikeresen használható fel.

Kapteyn szerint a centrumban levő sűrűség a pólusok irányában körülbelül 1800 fényév távolságban csökken le egytizedére, a Tejútban meg csak körülbelül 9.000 fényév távolságban. Egyszázad sűrűség elérésére az előbbi irányban 5.500, a másikban 28.000 fényévre kellene mennünk. Az egész rendszernek a kiterjedése a Tejút irányában körülbelül ötször akkora, mint a pólusok irányában.

Ha világrendszerünk szerkezetéről bizonyos át-

tekintést szereznünk sikerült is, tényleges dimenzióit nem tudjuk teljes határozottsággal megadni. Az örvedes módon fejlődő és már eddig is felette eredményes távolságmeghatározó módszerek segítségével azonban remélhetőleg néhány évtizeden belül rendszerünk kiterjedéséről is határozottabban nyilatkozhatunk. Egyes cepheida-változókról sikerült megállapítani, hogy azok 15.000 fényévnél is távolabb vannak tőlünk, a Tejútrendszer átmérője azonban talán százezer fényévnél is nagyobb.

Nem szabad elfelejtenünk, hogy a most vázolt rendszer nem merev, hiszen láttuk, hogy tagjai nem mozdulatlanok, hanem valamennyi s némelyik igen tetemes sebességgel állandóan változtatja a helyét a térben. Igaz, hogy az egész rendszer óriási dimenziói mellett tagjainak mozgása szinte elenyészik és évezredek kellenek, hogy ebből a mozgásból kifolyólag tőlünk nézve észrevehetően megváltozzék az égbolt képe. Mégis ezzel a mozgással számot kell vetni. A csillagokat külön-külön vizsgálva, a legkülönbözőbb sebességű és irányú mozgásokkal találkozunk. Számos beható vizsgálatnak képezte a tárgyat már eddig is annak az eldöntése, hogy nem mutatkozik-e valami rendszer ezekben a mozgásokban. Az határozottan megállapítható, hogy a csillagok sebessége és abszolút fényessége, tehát egyúttal tömege közt is szoros összefüggés van. Általában minél kisebb a csillag tömege, annál gyorsabban mozog. Napunk körülbelül 20 km. másodpercenkénti sebességgel halad a Herkules csillagkép irányában. A csillaghalmazok tárgyalásánál láttuk, hogy azok tagjai mind párhuzamosan mozognak egymással, egy és ugyanabban az irányban, mintegy áramlanak. A többi csillagok is mutatnak ilyen áramlási tendenciát, a halmazcsillagoktól eltérőleg azonban itt sokkal bonyolódottabbak a viszonyok s az ezeknek a kiderítésére irányuló vizsgálatok még korántsem tekinthetők befejezetteknek. Úgy látszik, legalább is két ilyen áram létezik, melyek szinte szembehaladnak egymással. Nem lehet sok két-

ség benne, hogy nemcsak az egyes csillagok kölcsönös helyzete változik, hanem maga az egész galaktikai rendszer is valószínűleg forgómozgást végez. Ennek a megállapítását célzó vizsgálatok azonban ma még csak tapogatózások.

Mindent összevetve láthatjuk, hogy a Tejútrendszer úgy szerkezetre, mint mozgásviszonyokra nézve korántsem mutatja azt az egyszerűséget és áttekinthetőséget, amilyennel Naprendszerünkben találkoztunk. Sokkal nagyobb dimenziókkal állunk itt szemben és összehasonlíthatatlanul nagyobb számú egyeddel van dolgunk. Még nagyon sok rejtélyről kell fellebbenteni a fátylat. Ha azonban meggondoljuk, hogy a máig elért eredmények legjelentősebbjei alig néhány évtizedre tekinthetnek vissza, bámulnunk kell azt a nagy haladást, melyet a tudománynak a Mindenség titkainak a ki-fürkészésében ily rövid idő alatt tennie sikerült.

### III. FEJEZET

#### A TEJÚTRENDSZER HATÁRÁN: A GÖMBCSILLAGHALMAZOK

Sokáig, amíg az égitestek távolságának meghatározására nem volt más módszer, csak a trigonometriai, vagyis az, melynek segítségével csupán az aránylag kisebb távolságokat lehet meghatározni, számos égi objektumról nem tudták, hogy azok egymáshoz és a mi Tejútrendszerünkhöz vonatkoztatva, milyen helyet foglalnak el a Mindenségben. Így állt a dolog a gömbcsillaghalalmazokkal is, melyekről már tettünk említést. Azoknak a halmazoknak a távolságát, melyekben a csillagok az ég nagyobb területén vannak széjjelszórva, vagyis a nyílt halmazokét a csillagok mozgásából sikerült levezetni. Így nyert megállapítást az, hogy a nyílt



halmazok mind a galaktikai rendszeren belül vannak. Hogy vajjon a gömbcsillaghalmazok az univerzumban milyen szerepet töltenek be, az nagyon sokáig teljesen nyílt kérdés volt. Minden kísérlet, mely távolságuknak a megállapítását célozta, sikertelen maradt. A rajtuk végzett radiális sebességmérésekből annyi kiderült, hogy ezek az objektumok átlagban 100 km. másodpercenkénti sebességnél is gyorsabban mozognak a térben. Ez az eredmény két szempontból érdemel különösebb megfontolást. Először ez a mozgás aránytalanul gyorsabb, mint ahogy a mi Tejútrendszerünk többi tagjai általában mozogni szoktak. Másodszor, ha a gömbhalmazoknak a sebessége olyan nagy, akkor annak a halmazok látszólagos elmozdulásában, a sajátmozgásban is meg kell nyilvánulnia. Azonban máig sem sikerült ezeknek az objektumoknak a sajátmozgását, vagyis a látóvonalra merőleges irányban történő mozgást kimutatni. Nyilvánvaló, hogy a gömbhalmazoknak nagyon messze kell tőlünk lenniök.

Külsőre tekintve, a gömbhalmazok jól megkülönböztethetők az előbbi fejezetben már tárgyalt nyílt csillaghalmazoktól. Amint az elnevezésük elárulja, a csillagok gömbszerű csomóban tömörülnek össze s így alkotják a halmazt. Különösen jól látni ezt a  $\omega$  Centauri-halmazban, mely valamennyi közt a legszebb, legfényesebb. Mintegy negyedrendű és mint ködszerű csillag szabadszemmel is fellelhető. Azonban annyira lent van a déli égbolton, hogy nálunk nem észlelhető. Rajta kívül még vagy négy vehető ki szabadszemmel. Az északi féltekén a legfényesebb s egyúttal a legszebb a Messier 13 nevű. Ez a Herkules csillagképben van s fényessége 5.8 magnitúdó.

Mivel a halmazoknak az összfényessége is nagyon alacsony, csillagjaik külön-külön még halványabbak. Csak nagyobb távcsövekben vehetők ki és csak ezek segítségével tudjuk a halmazokat csillagaikra jól felbontani. A csillagok száma egy-egy halmazban sok

ezerre rúg. Középen oly sűrűn helyezkednek el egymás mellett, hogy a legerősebb távcsővel sem választhatóak el egymástól. Kifelé haladva, a sűrűség egyre csökken, úgy hogy a halmazok nem is birnak éles, könnyen definiálható határral. A csillagok száma természetesen fényképeken állapítható meg legjobban. Alapos azonban a gyanú, hogy ezeken a felvételeken is csak a fényesebb csillagok láthatók s hogy a csillagok összes száma sokkal nagyobb, mint amennyit meg lehet számlálni. Felmerülhetne az a gondolat, hogy talán az expozíció idejét kellene növelni. De ez nem vezet célhoz, mert ekkor meg a csillagok a halmaz közepén egyre nagyobb területen folynak egybe. Fényesebb halmazokban 50.000-nél is több csillagot számláltak.

Az eddig ismert gömbhalmazok száma a százat se éri el. Eloszlásuk az égbolton nagyon sajátságos. Majdnem valamennyi az éggömb egyik felén helyezkedik el. Különösen sok van a Sagittarius-csillagkép ama pontja környékén, melynek galaktikai szélessége  $-2^{\circ}$ , galaktikai hosszúsága  $325^{\circ}$ . Ha e pont körül  $90^{\circ}$ -os távolságban kört vonunk, akkor a Shapley által jegyzékbe foglalt 86 gömbhalmaz közül mindössze 4 esik e körön kívül, 44 halmaz pedig  $30^{\circ}$ -nyi távolságra se esik a szóbanforgó ponttól. Az előbbi fejezetben bőven szótunk róla, hogy a csillagok mily szimmetrikusan oszlanak el az égbolton. Ezzel szemben a gömbhalmazok egészen excentrikusan helyezkednek el. A nagy sebességen és a távolságon kívül ez is sejteti, hogy ezek az objektumok nem illeszkednek be a Tejútrendszerbe, hanem valami különleges helyet foglalnak el a Mindenségben.

A gömbhalmazokról néhány évtizeddel ezelőtt még nagyon hézagosaak voltak az ismereteink. Shapley felbecsülhetetlen kutatásai azonban fordulópontot hoztak. Ennek a geniális amerikai csillagásznak vizsgálatai nemcsak a gömbhalmazok helyzetét tisztázták s nemcsak azoknak fizikai tulajdonságaira vetettek fényt, hanem egészen megváltoztatták addigi felfogásunkat vi-

lágrendszerünk dimenzióiról. Persze, az ilyen kutatások csak igen nagy műszerek segítségével eszközölhetők. Shapleynak akkoriban a világ legnagyobb távcsöve, a kaliforniai Mount-Wilson csillagvizsgáló 150 centiméteres reflektora állott rendelkezésére. A halmazok csillagjainak szétbontására nagy nagyítás és a csillagok lefényképezhetésére fényerős műszer szükséges. Hiszen a legfeltűnőbb halmaz, az  $\omega$  Centauri legfényesebb csillagjai is mindösze 12.3 magnitudoval bírnak s vannak halmazok, melyekben nincs 17 magnitudónál fényesebb csillag.

Igen kíváncsi volna, ha a halmazcsillagok színeképét is tanulmányozhatnók. Azoknak rendkívül kicsiny fényereje következtében műszereink jelenlegi fejlettsége mellett sem gondolhatunk azonban ennek megvalósítására. Legfőlőbb a centrumban lévő összefolyt magnák vizsgálhatjuk meg a színeképét, mely az abban lévő csillagoknak mintegy integrált színeképét adja. Ebből sikerült a gömbhalmazoknak a radiális sebességét is meghatározni. Az integrált színekép nagyjában az F vagy a G típusú színeképnek felel meg. Szerencsére van már olyan módszerünk, melynek segítségével a nagyon halvány csillagok színeképtípusát is meg tudjuk állapítani, szóval olyan csillagokét, melyeknek színeképét nagy fényességük miatt közvetlen nem vagyunk képesek megfigyelni.

Szólottunk arról, hogy a színeképtípus milyen szoros összefüggésben van a hőmérséklettel. Ez a kapcsolat olyan benső e két jellemző adat között, hogy egyik a másikat pótolhatja. Régi tapasztalat, hogy a hőmérséklet emelésével az izzó testek színe is változik, a vörösből az ibolya felé tolódik. Szakasztott ez az eset a csillagoknál is. Már szabadszemmel is észrevehető, hogy a csillagok nem egyforma színben ragyognak. S ezt a különböző hőmérséklet okozza. Ismeretes a fotografiai lemezek ama tulajdonsága, hogy azok főképp a kis hullámhosszúságú vagy a színekép ibolya felére eső színei iránt érzékenyek, szemben a



szemnek a vörös és a sárga szín iránti érzékenységevel. Ezért megeshet, hogy ha egy vörös és egy kékes csillagot — melyek közül a vörös fényesebbnek látszik — lefényképezünk, a lemezen a kék fog fényesebbnek bizonyulni. Egy szóval a csillagoknak szemmel megállapított, mint mondani szokták vizuális fényessége és a lemezen mért fotografiai fényessége nem ugyanaz. Ez az első pillanatban zavarónak látszó körülmény nagyon hasznosnak bizonyult, mert a vizuális és a fotografiai fényesség különbségéből a két csillag színére s ebből színeképre, vagy ha úgy tetszik, hőmérsékletére következtethetünk. Shapley több halmazt vizsgált meg ebből a szempontból s nagy gonddal határozta meg azok csillagjainak vizuális és fotografiai fényességét. Kiderült, hogy a halmazokban olyan nagy változatosság van színeképtípusokban, akár a Tejútrendszer csillagjainál.

Még 1895-ben történt az a nagyjelentőségű felfedezés, mely Bailey nevéhez fűződik, melyet azonban szintén Shapley aknázott ki. Bailey több gömbcsillaghalmazban számos változó csillagot talált, melyek fényváltozásuk alapján cepheidáknak bizonyultak. Az előbbi fejezetben láttuk, hogy a cepheidák milyen jó alkalmat nyújtanak távolságmeghatározásra. Ma már vagy 30 gömbcsillaghalmazban ismerünk ilyen változókat. Fényváltozásuk tartama, vagyis a periódusuk alig tér el egymástól (körülbelül félnap) s látszólagos fényességük is csaknem tökéletesen ugyanaz (mivel fényük változik, fényességükön itt a középfényesség értendő). A halmazok, már tudjuk, óriási távolságban vannak tőlünk; úgy, hogy ehhez képest dimenziójuk elenyészik. Bátran úgy tekinthetjük, hogy egy-egy halmaz csillagjai egyforma távol vannak tőlünk. Mivel egy adott halmazban a változók ugyanazon látszólagos fényességűek, tehát az egyforma távolság következtében tényleges, abszolút fényességük is megegyezik egymással. Ez csak megerősíti azt az összefüggést, amely a cepheidák abszolút fényessége és periódusa közt áll

fenn. A halmazváltozók periódusa, mint feljebb említettük, nem mutat nagy ingadozást, tehát előre várhattuk, hogy az abszolút fényességekben sem lesznek eltérések. A már sokat emlegetett abszolút fényesség-periódus összefüggés alapján az abszolút fényességet a megfigyelt periódusból megállapítva, kiszámíthatjuk a távolságát a változóknak, illetve a halmaznak, amelyben benne vannak. Például a Messier 3 gömbhalmaz változóinak az abszolút fényessége periódusuk alapján  $-0.23$  magnitúdó. Mivel a látszólagos fényesség  $15.5$  magnitúdó, távolságul  $14.000$  parszek, vagyis  $45.000$  fényév adódik! Nemcsak egy-egy halmazban, hanem valamennyiben ugyanaz a periódus mutatkozik, tehát valamennyi halmaz változóinak az abszolút fényessége nagyjában ugyanaz. Látszólagos fényességükben fellépő eltérés tehát tisztán a távolság következménye.

Nem minden gömbhalmazban vannak változók. Shapleynek azonban igen szellemes módon ezeknek a távolságát is sikerült meghatároznia. Észrevette, hogy minden halmazban, amelyben változók vannak, a legfényesebb csillagok átlagban  $1.3$  magnitúdónál fényesebbek a változóknál. Ez a szabályszerűség feltűnő módon nyilvánul meg mindegyik halmazban. A legfényesebb csillagok abszolút fényessége tehát (mivel a változóké  $-0.2$ ) kerekén  $-1.5$ . Elégséges tehát valamely halmaz néhány legfényesebb csillagának a látszólagos fényességét megállapítani és már ebből is meghatározhatjuk a távolságot, még ha a halmazban nincs is változó.

Ha azokat a halmazokat, melyeknek távolságát a most ismertetett módszerekkel megállapítottuk, távolságuk növekedése szerint sorrendbe foglaljuk s mindegyik mellé feltüntetjük a halmaz látszólagos átmérőjét, rögtön észrevehetjük, hogy minél távolabb van a halmaz, annál kisebbnek látszik. Számításból kiderül, hogy a halmazok nagyjában egyforma kiterjedésűek s látszólagos nagyságuk tisztán a távolságtól függ. S

ezzel újra egy módszer birtokába jutottunk, mely a gömbhalmazok távolságának a meghatározását látszólagos átmérőjük alapján teszi lehetővé. Ez a módszer még olyan esetben is alkalmazható, mikor még a halmaz legfényesebb csillagjának sem ismerjük a magnitúdóját.

A Tejútrendszer legtávolabb lévő csillagjai, melyeknek távolságát eddig sikerült megállapítani, körülbelül 15.000 fényévre vannak tőlünk. A gömbcsillaghalmazok legközelebbikének, az  $\omega$  Centaurinak 21.000 fényév a távolsága. Az északi félgömb legfényesebbjét, a Messier 13-at 36.000 fényév választja el tőlünk. Legtöbbje kétszer-háromszor van ennyire. Tudomásunk szerint a legtávolabb lévőnek 230.000 fényév a távolsága! Ezek az értékek idővel valamit még változhatnak. Az abszolút fényesség és a periódus közötti összefüggés ugyanis olyan csillagok alapján van levezetve, melyeknek távolságát direkt módszerrel állapítjuk meg. Mivel ez eddig még csak kevés cepheidánál sikerült, a fenti összefüggés az anyag bővülésével kissé módosulhat, de egyben egyre határozottabb lesz s egyre pontosabb eredményeket fog nyújtani.

A nagy távolságnak megfelelően a halmazok dimenziói is igen nagyok. A sűrű középső rész átmérője maga több 15 fényévnél, az egész halmaz pedig kiterjedhet 100 fényévet is.

Bámulatos az a nagy hasonlóság, mely a halmazok között fennáll. Láttuk, hogy nagyságuk nagyjában egyforma, legfényesebb csillagaik abszolút fényessége ugyanaz s teljes egyezés mutatkozik a bennük lévő cepheidák periódusa és abszolút fényessége között is. Ugyanez a hasonlóság jellemző az alakjukra is. Képeiket egyforma nagyságra hozva, alig lehet egyiket a másiktól megkülönböztetni. A csillagok eloszlásában a törvényszerűség látszólag ugyanaz mindegyikben. A halványabbak a széleken, a fényesebbek inkább középen helyezkednek el. Tüzetes vizsgálatok kiderítették, hogy majdnem mindegyikben a csillageloszlás olyan,



hogy a halmaz alakja inkább ellipszoidnak, mint gömbnek felel meg.

A csillagok sűrűsége a gömbhalmazokban — a Tejútrendszerekben lévő viszonyokkal szembeállítva — rendkívül magas. A Messier 3 halmaz centruma körül 10 parszek távolságon belül legalább 15.000 olyan csillag van, melynek mindegyike több mint négyszer fényesebb a Napunknál. Ezzel szemben a Nap körül ugyanolyan távolságban mindössze vagy négy olyan fényességű csillag lehet. Azonban a Messier 3 szóbanforgó csillagjai között a többszörös távolság így is vagy 50.000 csillagászati egység, s így még bőven van köztük hely mozgásra. Másrészt valószínű, hogy még nagyon sok gyengébb fényű csillag lehet köztük, melyekről nincsen tudomásunk. Oly halvány csillagokat, amilyen a Nap, még egyáltalában nem sikerült lefényképezni a gömbhalmazokban. A legfényesebbek mind vörös, vagyis alacsony hőmérsékletű óriáscsillagok.

Egy-egy gömbhalmaz összfényessége közelítőleg —9 abszolút magnitúdónak felel meg, ami körülbelül 300.000-szerese a Nap fényének. Az egésznek a tömege csak közelítőleg becsülhető, mivel a csillagok összes számát nem ismerjük, de valószínűleg a tömeg néhány százezerszer múlja felül a Napét. A halmaz csillagjai kétségtől az egész tömeg vonzása által megadott pályákon mozognak. A nagy távolság miatt azonban nem kell csodálni, hogy ezt a belső mozgást eddig még nem sikerült kimutatni.

Hogy maguk az egész halmazok nagy sebességgel mozognak az űrben, arról már a fejezet elején megemlékeztünk. A radiális sebességmérések közepben 117 km. másodpercenkénti sebességet adnak. Az ennek megfelelő sajátmozgás, mely, Shapley távolságadatait fogadva el, 0."5 volna évszázadonként, eddig még nem volt kimutatható.

A halmazok térbeli eloszlása is igen figyelemre méltó. Együttvéve maguk is egy kiterjedt halmazt al-

kotnak, melynek átmérője mintegy 250.000 fényév. Ennek a nagy halmaznak a centruma azonban koránt-sincs a Nap közelében, hanem ettől körülbelül 65.000 fényévre esik a Sagittarius csillagkép irányában. A Nap nagyon is a szélén van ennek a halmaznak, ami magyarázatát adja annak, miért látjuk az égboltnak jóformán csak az egyik felén ezeket az objektumokat. Ha a Tejútrendszer dimenzióit pontosabban ismernők, vagyis ha meg tudnók adni határait, talán határozot-tabban nyilatkozhatnánk a Tejútrendszer és a gömb-halmazok kölcsönös összefüggéséről. Tény, hogy ez utóbbiak által alkotott nagy halmaz centruma nagyjá-ban a Tejút síkjába esik, sajátságos módon azonban ettől a síktól kétoldalt mintegy 7000 fényévre gömb-halmazok teljesen hiányoznak. Nem tudjuk magyaráza-tát adni, mért ne létezhetnének ezen a sávon belül is. Talán vannak ott is, de esetleg a Tejút sötétködjei által vannak eltakarva.

A gömbhalmazok 100 fényévet kitevő kiterjedé-sükkel maguk is kis világrendszereknek tekinthetők. Hiszen több tízezerre menő olyan csillagot számlálha-tunk bennük, amelyek mind nagyobbak a Napunknál. A milliárd napokat számláló Tejútrendszerrel szemben azonban mégis csak alárendelt szerepet játszhatnak a Mindenségben. Hogy milyet, az még nincs tisztázva. Hogy függetlenek-e a mi világrendszerünk-től, vagy vajjon óriási távolságuk dacára is ahhoz tartoznak-e, ezt eddig még nem lehetett határozottan megállapí-tani.

#### IV. FEJEZET

### MÁS VILÁGRENDSZEREK: AZ EXTRAGALAKTIKAI KÖDFOLTOK

Amennyiben világrendszer Mindent jelent, úgy furcsának tűnhet fel ennek a szónak többszámban

való használata. Hogy a csillagász mégis világrendszerekről beszél, az annak a következménye, hogy a Mindenségről alkotott képzetek az utóbbi időkben gyökeresen megváltoztak. Amit vagy félszázaddal ezelőtt Világrendszernek gondoltak, arról kiderült, hogy az csak egy világrendszer, egy a sok közül, amilyenből még nagyon sok létezik s amely mind önálló tagja a nagy Mindenségnek.

Jelenlegi ismereteink szerint is ezeknek az önálló világrendszereknek a száma több százezerre rúg! Ha a világrendszer sokatmondó nevét viselik, természetesen mindegyikük óriási dimenziójú. A nagy távolság miatt azonban alig egynéhány látható szabadszemmel. Még a nagyobb fajta távcsövön át nézve is csak gyenge fénypamacsoknak látszanak. Ködszerű foltoknak. Már volt dolgunk ilyen elnevezésű és külsejű égi objektumokkal. Ezek voltak a bolygószerű ködfoltok, a diffúz és a sötétködök. Valamennyien a galaktikai rendszernek a tagjai. A most tárgyalandó égi objektumok azonban teljesen függetlenek a mi szűkebb értelemben vett világrendszerünkötől, a Tejútól, azon kívülálló, önálló világok. Ezért extragalaktikai ködfoltoknak nevezik őket.

Már nagyon régen ismeretesek, a legújabb időkig azonban lényegében semmit sem tudtunk róluk. Csak a modern nagy műszerek segítségével sikerült természetüket kideríteni s önállóságukat felismerni. S ennek megállapítása a legújabb, de bizonyára nem a legutolsó lépés, melyet az emberi elme a Mindenség kutatásában annak megismerésére tett.

Tanulmányunk legelején Naprendszerünkkel s annak dimenzióival ismerkedtünk meg. A sebes fénynek 9 órára van szüksége, hogy bolygóink világán átszaladjon. A Nap után legközelebbi csillag azonban már  $4\frac{1}{3}$  fényévre van tőlünk. S a többi csillagok még távolabb. A belőlük álló Tejútrendszer átmérője több tízezer fényévre rúg. A gömbcsillaghalmazok távolságának a kifejezésére olykor már százezer évekre van szük-



ségünk. Az extragalaktikai ködfoltoknál egy-kettő kivételével pedig ez sem bizonyul elégségesnek.

Valamennyi közül az a kettő van hozzánk legközelebb, mely a Nagy és Kis Magellán-felhő néven ismeretes. Annyira, hogy egyesek a Tejútrendszer levált részeinek tartják őket. Ez a két objektum szabad szemre is feltűnő s hogy nálunk a laikusok között kevesen tudnak róluk, annak bizonyára csak az az oka, hogy egész közel vannak az égbolt déli pólusához s a földgömb északi felén nem figyelhetők meg. A Nagy Magellán-felhő a Dorado csillagképben csak 31, a Kis Magellán-felhő a Tucana csillagképben meg csak 17 foknyira van a déli pólustól. Mindkettő igen kiterjedt objektum. Az előbbinek legnagyobb kiterjedése irányában több mint  $7^{\circ}$  a látszólagos átmérője, az utóbbié mintegy ennek a fele. Összfényességük körülbelül egy másodrendű csillag fényességének felel meg. Megfelelő fényerejű távcsövön át nézve olyan benyomást keltenek, mintha a Tejutat néznők. A legfényesebb csillagok azonban mindössze 11. nagyságrendűek, ezeknél azután rengeteg számban találunk halványabbat. Shapley félmillióra becsüli a 18. magnitudónál fényesebb csillagok számát a kisebbik felhőben.

A felhők összetétele sok tekintetben emlékeztet a Tejútéra. A legkülönbözőbb színképű csillagokat találjuk bennük, diffúz ködöket is, sőt a nagyobbik felhővel öt gömbcsillaghalmaz is látszik összefüggésben lenni. Ugyancsak nagyon gazdagok e felhők változó csillagokban. Ezek legtöbbje Cepheid-típusú, ami nagyon jó módot nyújt a felhők távolságának a meghatározására. Shapley szerint a nagyobbik felhő távolsága 112.000 fényév. Ugyanezt az eredményt adják a benne lévő gömbcsillaghalmazok is. A kisebbik felhő valamivel közelebb, 104.000 fényévre van tőlünk. A két felhő egymástól való távolsága 39.000 fényév.

Ami a két rendszer tényleges dimenzióit illeti, a Nagy Magellán legnagyobb átmérője 14.000, a kisebbé 7500 fényév. Ezek az értékek nagyobbak, mint amilyen-

neket még nemrégén a mi galaktikai rendszerünk kiterjedésének tulajdonítottak.

A földgömb déli részén levő csillagvizsgálók jelenleg még nem rendelkeznek olyan távcsövekkel, melyek lehetővé tennék a felhőkben lévő csillagok radiális sebességét meghatározni. A Kis Magellan felhőben van azonban egy diffúzköd, melynek sebessége  $+ 170$  km. másodpercenként. Ha ez a diffúzköd magában a felhőben nem nagyon változtatja a helyét, elfogadhatjuk, hogy a Kis Magellan-felhő körülbelül  $170$  km. másodpercenkénti sebességgel közeledik felénk. A nagyobbik felhőben  $17$  diffúzködnek a radiális sebességét sikerült meghatározni. Ezek középértékül  $+ 276$  km/mp. sebességet adnak. Az egyes értékek mindössze  $17$  km/mp. sebességgel térnek el a középtől. Ez az eltérés kölcsönös helyváltozásukból ered. Ismerve a távolságot és a diffúzködök látszólagos nagyságát, ez utóbbiak tényleges dimenzióit is kiszámíthatjuk. A legnagyobb köztük  $130$  fényév átmérőjű.

Mivel a két felhő távolságát ismerjük, elég csillagjainak a látszólagos fényességét megállapítani, hogy ebből azok abszolút fényességét is megállapítsuk. Ebből a szempontból valóban sokkal kedvezőbb helyzetben vagyunk, mint a saját világrendszerünkben. Hogy a galaktikai rendszernek melyik a legfényesebb csillagja, fogalmunk sincs. Ha tudnók, akkor se tudnók talán annak értékét meghatározni, mert kétséges, hogy az ehhez szükséges távolságot meg tudnók-e állapítani. Ugyancsak a szóban forgó két rendszer dimenzióiról is sokkal tisztább képünk van, mint a saját rendszerünkről. Ami a csillagok abszolút fényességét illeti, a kisebb felhőben körülbelül  $10.000$  csillag van, mely több mint ezerszer fényesebb a Napnál és vagy  $400$ , melynek fényessége több, mint tízezerszer akkora. A legfényesebbek pedig körülbelül  $200.000$ -szer, a nagy felhőnek legfényesebbjei meg még többször mulják felül a Nap fényét.

Ha a Magellan-felhőket a többi extragalaktikai ködfolttal összehasonlítjuk, azt kell mondanunk, hogy aránylag közel vannak hozzánk. Hiszen néhány gömbcsillaghalmaz is távolabb van tőlünk. Már a következő, jelenlegi ismereteink szerint a Magellan-felhők után legközelebb lévő extragalaktikai ködfolt is tetemesen messzebbre esik. Ez az, melyet a Sagittarius csillagképben még Barnard fedezett fel 1884-ben s mely a New General Catalogue-ban 6822. számmal van el látva. Lényegeset csak újabban tudunk róla, mióta Hubble a Wilson-hegyi obszervatórium 250 centiméteres tükörtávcsövével vette beható tanulmányozás alá. Hubble több mint 50 felvételt készített róla s ezek tanulmányozásával 15 változó csillagot fedezett fel benne. Ezek közül 11  $\delta$  Cephei-típusú s így lehetővé teszi az egész rendszer távolságának a meghatározását. E cepheidák fényváltozásának periódusa 12 és 64 nap között ingadozik, látszólagos fényességük meg 17 és 19 magnitúdó között. E halvány csillagok nem is tanulmányozhatók, csak igen nagy műszerekkel s így egy-egy expozíció egy óránál is több időt vehet igénybe. A felvételeken talált ködök közül ötről kiderült, hogy magába a rendszerbe tartoznak. Átmérőjük ke reken 140 fényév s ez a nagyság megfelel a mi rendszerünkhöz, a Tejúthoz tartozó diffúzködök nagyságának. Színképük is hasonlóságot mutat. Hubble úgy találta, hogy a rendszerben lévő s különböző fényességű csillagok előfordulása nagy egyezést mutat azzal, melyet a mi rendszerünkben állapítottak meg. Ez, valamint az a körülmény, hogy e ködfoltban megfigyelt cepheidák periódusa és fényessége között ugyanaz az összefüggés áll fenn, mint amilyen a mi rendszerünk ilyfajta csillagjainál tapasztalható, továbbá a diffúzködök hasonlósága és még több Hubble által megállapított tény, melyekre itt nem terjeszkedhetünk ki, mind azt mutatják, hogy a Mindenségnek tőlünk igen távoli régióiban is ugyanazok a törvényszerűségek uralkodnak, mint a mi csillagrendszerünkben. Ez az ered-



mény megerősíti azt a feltevést, mely a Mindenség egyöntetűsége mellett tör lándzsát.

Amit az eddig ismertetett három extragalaktikai ködfoltról elmondottunk, az csak a fejlett csillagászati fotográfia segítségével volt megállapítható. A vizuális megfigyelések, bár ezek is több ezer ilyen objektum felfedezéséhez vezettek, keveset mondanak azok tényleges természetéről. Legfőbb fényességüket s változatos alakjukat lehetne tanulmányozni. De ez is sokkal jobban végezhető a gazdag részleteket kihozó felvételeken. Csillagokra különben csak nagyon kevés bontható fel. Legtöbbje nagyon kicsiny és nagyon halvány. A két Magellan-felhő után legfényesebb és legnagyobb a nálunk is látható és szabadszemmel is észrevehető Andromeda-köd. Összfényessége körülbelül 4. magnitudo.

Számukról már megjegyeztük, hogy az óriási. Curtis egyetlen egy lemezen, mely az ég körülbelül egy négyzetfoknyi területéről készült, több mint háromszázat talált. A fényképek igen alkalmasak az extragalaktikai ködfoltok alakjának a tanulmányozására, melyben ezek az objektumok igen nagy változatosságot mutatnak. Általános szokás két főcsoportra osztani őket. Az egyikhez a szabályos alakú, a másikhoz a szabálytalan ködfoltok tartoznak. A két Magellan-felhő és a szintén ismertetett N. S. C. 6822. alakjuk alapján az utóbbi csoportba esnek. A szabálytalan ködfoltok különben csak igen jelentéktelen részét teszik az extragalaktikai ködfoltoknak. Legtöbbjük, vagy 97 százalék, szabályos.

A szabályos ködfoltok feltűnő szimmetriát mutatnak a közepükben levő fényesebb mag körül. Ezeknek két csoportja: az ellipszises ködfoltok és a spirálisak. Az ellipszis alakúak semmi jelét sem mutatják a felbonthatóságnak. Fokozatosan fényesednek a centrum felé s fokozatosan halványodnak a szélek irányában. Alakjuk köralakú és orsószerű között változik. Tényleges alakjuk úgy látszik lencseszerű s a látszólagos sok-

féleség csak a lencse különböző helyzetének a következménye. A spirális ködfoltok közepét rendszeren egy fényesebb mag foglalja el, amelyből néhány spirálisan gördülő kar indul ki. Ha a ködfolt síkja éppen beleesik a látóvonalba, spirális volta esetleg fel sem ismerhető. A szabályos ködöknek van még egy érdekes típusa. A spirális több karja helyett ennél csak kettő van s ezek a ködnek jellegzetes S alakot adnak.

A szabályos ködfoltok közül különösen kettőről vannak eddig bővebb ismereteink. Az egyik az Andromeda-köd, a másik a Messier 33. Ezek vannak talán a legközelebb is hozzánk. Mindkettőt különösen Hubble tanulmányozta behatóan, ki a ködfoltok körüli ismereteink növelésében különös érdemeket szerzett már eddig is. Az Andromeda-ködon már évek óta végez vizsgálatokat s ezeknek eredménye még nem is látott mind napvilágot. A Messier 33. tipikusan spirális ködfolt. Eddig 45 változó-csillagot sikerült benne felfedezni. E helyen felmerülhet az a kérdés, vajjon e változók tényleg a ködfolthoz tartoznak-e, hátha csak a vetületüket látjuk a spirálisban, mert esetleg ugyanabba az irányba esnek. Az a körülmény azonban, hogy az égbolt más olyan nagyságú részein, melyet egy ködfolt betakarna, a tapasztalat szerint távolról sem található annyi változócsillag, továbbá az a tény, hogy más ködfoltokban is számos változót találtak, kétségtelenné teszik, hogy ezek a csillagok tényleg magához a távoli rendszerhez tartoznak. Az említett 45 változó közül 35 cepheida. Periódusuk 13—70 nap között ingadozik. Maximumkor a fényerősségük 18—19 nagyságrend, minimumkor azonban ezek a csillagok még a 250 centiméteres óriási reflektor részére is gyakran a megfigyelhetőség határán kívül esnek. A cepheidák alapján a rendszer távolságául 850.000 fényév adódik! A benne végzett csillagszámlálások szintén arra az eredményre vezettek, hogy a különböző fényességű csillagok előfordulása nagy hasonló-

ságot mutat ahhoz, melyet a galaktikai rendszerben állapítottak meg. Legfényesebb csillagjainak látszólagos fényessége 15.5 magnitúdó, ami a fenti távolság alapján —6.6 abszolút fényességnek felel meg. Ez jó egyezést mutat más ilyen rendszerek legfényesebb csillagjaira megállapított értékekkel. Így például a galaktikai rendszerben az eddig legfényesebbnek talált csillag abszolút magnitúdója —5.5, a Nagy Magellan-felhőben —8.0, az N. G. C. 6822. ködfoltban —5.8. A spirális közepében lévő magnak az abszolút fényessége ugyan még nagyobb, de a legnagyobb valószínűség szerint az nem egy csillagból, hanem sűrű, műszereinkkel fel nem bontható csillaghalmazból áll. A spirális távolságának és látszólagos átmérőjének az ismeretével tényleges átmérője is kiszámítható. Ez kereken 15.000 fényév.

El kell állnunk attól, hogy ezeket az érdekes objektumokat mind külön-külön tárgyaljuk, különben is nem sokról vannak részletes eredményeink. Vegyük most általános szempontból őket szemügyre.

Az extragalaktikai ködfoltokon végzett színeképi vizsgálatok már nagyon régi keletűek. Ilyen tanulmányok természetesen csak a fényes középső magon eszközölhetők. Ez tehát számos csillagnak az integrált színeképét adja. A színeképvonalak a Nap típusához tartozó csillagok színeképére emlékeztetnek s a különböző extragalaktikai ködfoltok lényegében ugyanazt a színeképet mutatják. Néhány esetben a rendszerekhez tartozó gázszerű ködfoltok színeképét is sikerült megfigyelni s ezek a mi diffúzködeinkre utalnak hasonlóságukkal. Nagyon gyakran észlelhetők bennük sötétfelhők, különösen a spirálisokban. Ha a spirális éppen élével áll felénk, akkor a sötétfelhők, mint sötét sáv egészen kettészelik a spirálist. Lehet, hogy a mi Tejútrendszerünket is körülveszik ilyen sötétfelhők a Tejút síkjában s ezzel teljesen elzárják a kilátást ebben az irányban. Ez teljesen kielégítő magyarázatát adná



annak, hogy miért nem látunk a Tejútban sem gömbcsillaghalmazokat, sem extragalaktikai ködfoltokat.

Az extragalaktikai ködfoltok radiális sebessége rendkívül nagy. Mikor Slipher első ízben az Andromeda-köd radiális sebességét határozta meg, a nyert eredmény, 300 km. másodpercenként, nagy meglepetésként hatott. Pedig a többinek a mozgása még nagyobb, átlagban 620 km/mp. Ezek a megfigyelések nagyon hosszadalmasak. Az objektumok fénygyengessége miatt egy-egy színeképi felvétel több éjszakát is vehet igénybe. Az eddig mért legnagyobb radiális sebesség 1800 km/mp! Túlnyomó részük távolodik tőlünk. Eddig már közel ötven extragalaktikai ködfolt radiális sebességét sikerült meghatározni. A Tejútrendszer tárgyalásánál láttuk, hogy a csillagok radiális sebességének a megállapítása nemcsak a csillagok mozgásáról ad nekünk felvilágosítást, hanem lehetővé teszi annak a kiderítését is, hogy a Napunk milyen sebességgel és milyen irányban halad csillagtársai között. Hasonló alkalmat nyújt az extragalaktikai ködfoltok radiális sebességének az ismerete Tejútrendszerünk mozgásának a kipuhatólására. Ezeknek a vizsgálatoknak az alapján a mi szűkebb értelemben vett világrendszerünk a Cepheus csillagkép  $\alpha$ -jának az irányában száguld körülbelül 400 km. másodpercenkénti sebességgel.

A ködök nagyrészenek, különösen a spirálisoknak az alakja azt a gondolatot kelti, hogy ezek az objektumok forgásban vannak. Azoknál a ködöknél, amelyek többé-kevésbé élükkel néznek felénk, a legnagyobb átmérő két végén a forgás következtében a radiális sebességeknek különbözőknek kell lenniök. S ez be is igazolódott s így megerősítést nyert az a feltevés, hogy a ködök forgásban vannak. Először Wolf állapította meg a Messier 81 rotációját, azután Slipher több másét. A mozgás mértéke közelítőleg arányosnak látszik a centrumból való távolsággal, ami azt mondaná, hogy a köd belső részei úgy rotálnak, mint egy merev test. A külső széleken a köd fénygyengessége miatt ra-

diális méréseket nem lehet végezni. A nyert értékek igen magasak. Az Andromeda-ködnél  $150''$ -re a centrumtól a rotáló sebesség  $12 \text{ km/mp.}$  s a spirális karjainak végén valószínűleg még nagyobb. A forgás a karok irányában történik, vagyis úgy, mintha a spirális kicsavarodna.

A ködfoltok olyan távol vannak, hogy a rotálás nagysága dacára is beláthatatlan ideig sem tapasztalható rajtuk alakváltozás. Az egyes részek kölcsönös elmozdulása olyan kicsi, hogy azt csak a jelenlegi felvételeknek számos évvel ezelőtt készült felvételekkel való összehasonlításával lehet megállapítani. A különböző kutatók által nyert értékek eddig még jelentősen eltérnek egymástól. Biztosabbat csak akkor fogunk tudni, ha majd olyan felvételek birtokában leszünk, melyeknek ideje között több évtizedre rúg a különbség.

1885-ben az Andromeda-ködben, közel annak magjához, egy újcillagot fedeztek fel. Az újcillagok a változók egy különös faja, melynél periódusról tulajdonképpen nem lehet beszélni. Az ilyen csillagok hirtelen, néhány nap vagy még rövidebb idő alatt eredeti fényességüknek több ezerszeresét érik el. Fényességük után lassan újra csökkenni kezd s esetleg évek múlva se éri el annak eredeti nagyságát. Ilyen csillagokat a Tejútrendszerben már évszázadokkal ezelőtt is megfigyeltek. Az Andromeda-ködon kívül más ködfoltokban is találtak újcillagokat, különösen, mióta jobban tartják őket szemmel. Magában az Andromedában eddig közel hetvenet figyeltek meg. Az újcillagok főképp a belső fel nem bontott ködszerű részben tűnnek fel leggyakrabban s általában maximumkor egyforma fényességet érnek el.

Az eddig ismertetett ködfoltoknál láttuk, hogy azok milyen gazdagok változócsillagokban. Ezek között számos a cepheid-típusú. Ennek a körülménynek természetesen óriási jelentősége van a ködfoltok távolságának a meghatározása szempontjából. A két Magel-

lan-felhőn, a N. G. C. 6822. és a Messier 33. ködfoltokon kívül az Andromedáét is sikerült ily módon megállapítani. E két utóbbi talán a hozzánk legközelebbi spirális, mindkettő körülbelül 850.000 fényévre van tőlünk. Néhány éven belül valószínűleg több extragalaktikai ködfolt távolságát fogják hasonló módon meghatározni s statisztikai módszerek felhasználásával a többinek a távolságát is lehetséges lesz majd egyre pontosabban megadni.

A Messier 33. spirális köd tényleges átmérője, mint már említettük, kereken 15.000 fényév. Ennek a ködfoltnak a látszólagos átmérője körülbelül  $1^{\circ}$ . Az ugyanolyan távolságban lévő Andromedáé, amint az hosszú expozíciójú felvételekből megállapítható,  $3^{\circ}$  s így ennek a ködfoltnak a tényleges átmérője is háromszor akkora, vagyis közel 50.000 fényév. Az Andromeda-köd tehát egyenrangú rendszernek látszik a mi világrendszerünkkel.

Hubble úgy találja, hogy az egyforma alakú ködök fényessége a látszólagos átmérőtől függ és hogy a felületi fényessége általában valamennyinek ugyanaz. Hubble s rajta kívül még Lundmark igen beható vizsgálat tárgyává tették az extragalaktikai ködöknél felépő alak-, fényesség-, látszólagos átmérő- s egyéb viszonyokat. Mindent egybevetve, bizvást mondhatjuk, hogy rövidesen képesek leszünk statisztikai alapon olyan ködfoltok távolságát is meghatározni, melyeket legnagyobb műszereinkkel sem tudunk csillagjaira bontani s még kevésbé azok változóit tanulmányozni. (Az előbbi fejezetben láttuk, hogy a gömbcsillaghalmazok egy részének a távolságát szintén nem a cepheidák segítségével, hanem a statisztikai adatokra támaszkodva a halmazok látszólagos átmérőjéből vezettük le.) Ezek a vizsgálatok még folynak s nincs helyünk, hogy azok részleteibe bocsátkozzunk. Csak megemlítjük, hogy Hubble egyik módszere a ködfoltok összfényességéből teszi lehetővé távolságuk becslését. Eszerint azok, amelyeknek látszóla-



gos összfényessége 9 magnitudo, kereken 2,200.000 fényévre vannak tőlünk. A fényesség csökkenésével a 10, 11, 12 magnitudónak megfelelő távolságok  $3^{1/2}$ ,  $5^{1/2}$ , 9 millió fényév és így tovább.

Mivel az extragalaktikai ködfoltok száma óriási s ez a műszerek tökéletesedésével még növekedni fog, statisztikai vizsgálatra igen alkalmasak. Megérjük, hogy éppen úgy fogunk beszélni az extragalaktikai ködfoltok rendszeréről, annak szerkezetéről és dimenzióiról, amint a mi szűkebb világrendszerünkben beszéltünk a csillagok eloszlásáról. Máris tudunk több esetről is, ahol az extragalaktikai ködök egész halmazával van dolgunk. Így a Berenice haja csillagképben van egy ilyen körülbelül száz ködöt tartalmazó halmaz, melyek kétségkívül összetartozó rendszert alkotnak. Shapley és Hubble is 10 millió fényévre becsüli távolságukat. Ilyen ködhalmazt talált Baade is a Nagy Göncöl-szekerben, mely vagy 60 ködöt számlál s távolsága a fényességből becsülve 150 millió fényév körül lehet.

Ma már nem fér kétség hozzá, hogy az extragalaktikai ködfoltok galaktikai rendszeren kívül eső, önálló, ahhoz sok tekintetben hasonló óriási csillagrendszerek. Lehet, hogy a mi világrendszerünk messziről nézve szintén spirális ködfoltnak látszik, aminek feltevésére több körülmény bátoríthat fel bennünket. Az a sötét sáv, mely a szélről látott spirálisokon keresztül húzódik, a mi sötétködjeinkre emlékeztet s nagyon is lehetséges, hogy az extragalaktikai ködöknek a Tejút síkja környékén való hiánya (20°-os galaktikai szélességben) annak a sötét anyagnak a következménye, mely az egész galaktikai rendszert ebben a síkban körülburkolja. Másrészt igaz, hogy a mi rendszerünkben semmi nyomát sem találjuk olyan magnak, ami ezeket a ködöket igen jellemzi.

Még sok kérdés vár megoldásra, az emberi elmének még sok titokról kell fellebbenteni a fátylat, de azért önérzettel tekinthet végig így is kutatásainak gazdag területein. Valamikor mindössze néhány ezer

kilométerre terjedt ki a látóköre. Az óceán háborgó hullámai visszahajtották országának partjaira s az égbolttal érintkező tenger visszariasztotta a végtelenbe vesző messziségektől. De aztán felfedezte az egész Földet. S nemsokára tudatára ébredt törpeségének. Le kellett mondania arról, hogy ő a Világ közepe, érte van minden s a csillagok csak az ő gyönyörűségére ragyognak. Rájött arra a jelentéktelen szerepre, mely a Földnek az életadó és életfenntartó nagy csillaggal, a Nappal szemben jutott. Pedig az is csak porszem a Mindenségben. És csillagok következnek csillagok után. Megannyi napok. Megszámlálhatatlannak tűnnek fel s úgy látszik, betöltik az egész végtelen teret. De kiderül, hogy véges, zárt világot alkotnak s hogy még sok ilyen világrendszer van a Mindenségben.

Már nagyon messzire sikerült behatolnunk a térbe, olyan messzire, ahonnan a fény hosszabb ideje jön, mint mióta az emberiség létezik vagy talán mióta egyáltalában élet van a Földön. De vajjon azon túl mi van? Újabb és újabb világrendszerek, vagy ezeknek még magasabbrendű rendszerei? Egyelőre nem tudjuk. A Mindenség kikutatott határai egyre jobban ki fognak tágulni, de ezzel egyidejűleg ismét új és új ismeretlen területek csigázzák fel a természetbúvár meg nem szűnő kutató vágyát. A tér és az idő végtelenségei ölelkeznek itt egymással. Mindent sohase fogunk tudni és talán nem is ajánlatos, mert akkor tudásunk megállana s nem volna többé: Haladás.

## IRODALOM

Akik a jelen kis munkában felvetett problémákba mélyebb bepillantást kívánnak nyerni, azoknak a legutóbbi években megjelent munkák közül elsősorban a következőket ajánlhatjuk:

*Newcomb—Engelmann*, *Populäre Astronomie*. 7. kiadás. 902 l. Leipzig, 1922. — Nagyon elterjedt kézikönyv. Legújabb vizsgálatokat illetőleg már kissé elavult s áttekinthetőségre sem közelíti meg az angol munkákat.

*H. J. Jones*, *General Astronomy*. 392 l. London, 1924. — Jó bevezető. Amerikában s Angliában egyetemi tankönyv.

*F. J. M. Stratton*, *Astronomical Physics*. 213 l. London, 1925.

*H. Dingle*, *Modern astrophysics*. 4. kiadás. 420 l. London, 1927.

*K. Graff*, *Grundriss der Astrophysik*. 751 l. Leipzig, 1928. —

*Russel, Dugan and Stewart*, *Astronomy*. 932 l. Boston, 1927. — Jelenleg a legjobbnak tekinthető kézikönyv.

Magyarban *Wodetzky J.*, *A világegyetem szerkezete* c. kis munkája (146 l. Budapest, 1927) rövidre fogva kitűnő áttekintését adja a jelen csillagászatának.

A csillagászati világképnek a bevezetésben csak néhány szóval érintett fejlődése iránt érdeklődők figyelmébe bevezetésül *Boll* következő értekezését ajánlhatom:

*F. Boll*, *Die Entwicklung des astronomischen Weltbildes in Zusammenhang mit Religion und Philosophie*. 1921. *Die Kultur der Gegenwart*, III. Teil, III. Abt. 3. Bd.: *Astronomie*. 1—56 l. — Ugyane helyen idevonatkozó gazdag irodalmat talál az olvasó. Az e tárgyú rövid, áttekinthető munkák közül jó szolgálatot tehet még:

*S. Oppenheim*, *Das astronomische Weltbild im Wandel der Zeit*. 2. kiadás. 1912. 134 l. *Aus Natur und Geisteswelt*, Nr. 110.



A Naprendszerben uralkodó mozgásvizonyokat közérthető módon tárgyalja:

I. Hepperger, *Mechanische Theorie des Planetensystems*. 1921. Die Kultur der Gegenwart. III. Teil, III. Abt. 3. Bd: Astronomie, 216—260 l.

Középiskolai matematikai tudást követel meg:

I. Frischauf, *Grundriss der theoretischen Astronomie und der Geschichte der Planetentheorie*. 3. kiadás. 248 l. Leipzig, 1922.

Ennek áttanulmányozása után, de csak a felsőbb matematikában jártasoknak ajánlható:

F. R. Moulton, *An introduction to celestial mechanics*. 2. kiadás, 347 l. New-York, 1914.

A Naprendszer tagjainak fizikáját az első helyen felsorolt kézikönyvek majdnem valamennyije mind igen behatóan tárgyalja. Ugyanezt mondhatjuk a Tejútrendszer tagjainak fizikájára is. Részletesebb adatokat csak a csillagvizsgálók kiadványaiban és a szaklapokban szétszórtan találhatunk.

A Tejútrendszer szerkezetéről nagyobb szabású újabb munka nincsen. Régebbiek közül elsősorban Kobold és Eddington alanti munkái jönnek tekintetbe:

H. Kobold, *Der Bau des Fixsternsystems*. 256 l. Braunschweig, 1906.

A. S. Eddington, *Stellar movements and the structure of the universe*. 266 l. London, 1914.

Kobold később írt áttekintő értekezése:

H. Kobold, *Das Sternsystem*. 1921. Die Kultur der Gegenwart. III. Teil. III. Abt. 3 Bd. 511—565 l.

Az ugyanitt közölt gazdag irodalmi jegyzékkel jó útmutatóval szolgálhat a további bűvárlkodásra. A legújabb kutatásokat illetőleg az érdeklődő a folyóiratokra s egyéb időszaki kiadványokra van utalva. (Lásd Seares számos cikkét az *Astrophysical Journal*-ban.)

Csillaghalmazok irodalmánál elsősorban Shapley-nek az *Astrophysical Journal*-ban megjelent s fordulópontot jelentő értekezései jönnek tekintetbe. E tárgyról különben már összefoglaló mű is áll az érdeklődő rendelkezésére:

P. Bruggencate, *Sternhaufen*. 150 l. Berlin, 1927.

Az extragalaktikai ködöket illetőleg az olvasó, ki a felsorolt kézikönyvekben találtakkal nem elégszik meg, csillagvizsgálók kiadványaira és szakfolyóiratokra van utalva. Hubble az *Astrophysical Journal*-ban és Lundmark különböző helyeken megjelenő cikkei a legfontosabbak.

## TARTALOM

	Oldal
Bevezetés .. .. .	3
I. fejezet: A Naprendszer .. .. .	6
II. fejezet: A mi szűkebb értelemben vett világrend- szerünk: a Tejútrendszer .. .. .	27
III. fejezet: A Tejútrendszer határán: A gömbcsillag- halmazok .. .. .	57
IV. fejezet: Más világrendszerek: Az extragalaktikai ködformák .. .. .	65

MAGYAR  
TUDOMÁNYOS  
AKADÉMIA  
KÖNYVTÁRA

Magyar Tudományos Akadémia  
Könyvtára 3645/1951. sz.

: 2132



A

# KINCSESTAR

egyéb történelmi tárgyú kötetei :

BARTONIEK EMMA

A KÖZÉPKOR (14)

KMOSKÓ MIHÁLY

AZ ISZLÁM (17)

BALLA ANTAL

AZ UTOLSÓ SZÁZ ÉV TÖRTÉNETE (18)

TÖRÖK PÁL

A FRANCIA FORRADALOM TÖRTÉNETE (19)

LIGETI LAJOS

KÍNA (20)

KNIEZSA ISTVÁN

A SZLÁVOK (26)

BAJZA JÓZSEF

JUGOSZLÁVIA (28)

SZÁSZ ZSOMBOR

ROMÁNIA (28)

GOGOLÁK LAJOS

CSEHSZLOVÁKIA (29)

BÁRÓ VILLANI LAJOS

A MAI OLASZORSZÁG (30)

Ára kartonban 80 fillér, egészvadszonba kötve 1.20 P